



# UNIVERSIDAD DE LAS REGIONES AUTÓNOMAS DE LA COSTA CARIBE NICARAGÜENSE (URACCAN)

Monografía

Evaluación de los efectos de extracción de grava y arena  
sobre el agua superficial de la subcuenca del río Brakira,  
comunidad indígena de Tuapí, Puerto Cabezas, RAAN

Para optar al título de: Ingeniería Agroforestal

AUTORES: Félix Archibald Cordero  
Raymundo Blanco Palacio

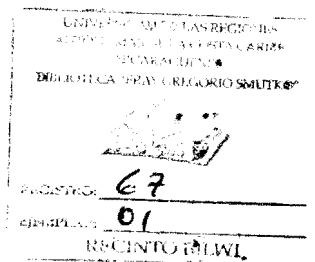
TUTOR: M.Sc. William J Watler Reyes

Bilwi, Febrero, 2010

8.242  
6731

# **UNIVERSIDAD DE LAS REGIONES AUTÓNOMAS DE LA COSTA CARIBE NICARAGÜENSE (URACCAN)**

**Monografía**



**Evaluación de los efectos de extracción de grava y arena  
sobre el agua superficial de la subcuenca del río Brakira,  
comunidad indígena de Tuapí, Puerto Cabezas, RAAN**

**Para optar al título de: Ingeniería Agroforestal**

**AUTORES: Félix Archibold Jacobo  
Reymundo Blanco Palacio**

**TUTOR: M.Sc. William J Watler Reyes**

**Bilwi, Febrero, 2010**

A Dios todo poderoso.

A mis padres Ralph Archibold y Olga Jacobo.

A mis hijas Denessy Ross, Dasha Dianesca, Desideria Clareth.

A mi querida esposa Lucia Alfred.

A mis hermanos y hermanas Ned, Jessy, Fernando, Leonardo, Jenny y Judith por todo el apoyo incondicional brindado en el transcurso del estudio.

***Félix Archibold Jacobo***

A Dios nuestro señor, sobre todas las cosas.

A mi esposa Paula Atoya, por la paciencia que tuvo durante cinco años y por el apoyo permanente en todo.

A mi hijo Fabián Alexander.

A mi sobrino Marvin, por todos los sacrificios que tuvieron que hacer.

***Raymundo Blanco Palácio***

## **AGRADECIMIENTOS**

De manera especial agradecemos el apoyo brindado a todos los docentes de URACCAN, en especial al M.Sc. William J Watler y M.Sc. Enrique Cordón, por el apoyo incondicional en la elaboración del trabajo de investigación; asimismo, al vicerector Ing. Albert St'Clair, por su insistencia en la culminación de nuestro trabajo, y a todos los que nos apoyaron de una u otra manera en la realización del trabajo Monográfico.



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

## PÁGINAS

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	iii
ÍNDICE DE MAPAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE CUADRO .....	vii
Resumen.....	viii
I. INTRODUCCION.....	1
II. OBJETIVOS.....	4
2.1 Objetivo general.....	4
2.2 Objetivo específico.....	4
2.3 Hipòtesis/supuesto.....	4
III. MARCO TEORICO.....	5
3.1 Caracterización ecológica.....	5
3.2 Concepto de cuenca hidrografica e hidrològica.....	5
3.2.1 Cuenca hidrogràfica.....	5
3.2.2 Cuenca hidrològica.....	6
3.2.3 La cuenca como unidad de planificacion manejo, gestion y cogestion de los recursos naturales.....	7
3.2.4 Componentes de la cuenca.....	8
3.2.5 Partes y división de una cuenca.....	8
3.2.6 Clasificación de las cuencas hidrográficas por su sistema de drenaje y conducción final .....	10
3.2.7 Clasificación de las cuecas.....	10
3.3 Caracterización de una cuenca hidrográfica.....	11
3.3.1 Biótico.....	11
3.3.1.1 Flora.....	11
3.3.1.2 Fauna.....	12
3.3.2 Abiótico.....	12
3.3.2.1 Suelo.....	12
3.3.2.2 Red de drenaje.....	13
3.3.2.3 Roca o material parental.....	13

3.3.2.4 Elementos del clima.....	14
3.3.2.4.1 Temperatura.....	14
3.3.2.4.2 Humedad relativa.....	14
3.3.2.4.3 Presión atmosférica.....	15
3.3.2.4.4 Viento.....	15
3.3.2.4.5 Precipitación.....	15
3.4 Métodos para estimar pérdida de suelo por erosión hídrica.....	15
3.4.1 Concepto de erosión.....	17
3.4.1.1 Clase de erosión y su proceso de pérdida de suelo.....	17
3.5 El caudal de un río.....	19
3.5.1 Método de velocidad por superficie.....	19
3.6 Calidad de agua.....	20
3.7 Medidas de mitigación.....	24
IV. METODOLOGIA.....	25
4.1 Descripción del área de estudio.....	25
4.2 Metodología del estudio.....	25
4.3 Tipo de estudio.....	25
4.4 Muestra.....	26
4.4.1 Sitios o áreas de muestra.....	26
4.5 Caracterización de la subcuenca sus los aspecto ecológico.....	27
4.5.1 Aspecto Ecológico.....	28
4.5.1.1 Factores biótico.....	28
4.5.1.2 Factores abióticos.....	28
4.5.1.2.1 Clima .....	28
4.5.1.2.2 Suelo .....	28
4.5.1.2.3 Red de drenaje.....	29
4.6 Referenciación de los sitios o huecos afectados por la extracción de grava y arena.....	29
4.7 Estimación del volumen de material extraído de grava y arena, y su distribución en la parte media y alta de la subcuenca.....	29
4.7.1 Estimación de las áreas afectadas (m <sup>2</sup> ).....	29
4.4.1.1 Método de la poligonización.....	30
4.4.1.2 Elaboración de croquis o mapas.....	30
4.4.1.3 calculo de área por el método de la plantilla de puntos.....	31
4.4.1.3 calculo de área por el método de la plantilla de puntos.....	31
N = número de áreas seleccionada.....	32

4.8 Cuantificación de la pérdida de suelo por la erosión hídrica en las Áreas afectadas por la extracción de grava y arena.....	32
4.8.1 Cálculo de la pérdida suelo en las áreas afectadas por la extracción de grava y arena.....	32
4.9 Determinación del caudal y calidad del agua superficial de la Subcuenca del río Brakira.....	33
4.9.1 El caudal .....	33
4.9.2 Calidad de agua.....	35
4.10 Medidas de mitigación a corto, mediano y largo plazo, con fines de Protección y/o conservación del recurso hídrico superficial .....	35
V. RESULTADO Y DISCUSIÓN .....	36
5.1 Caracterización de la subcuenca del río Brakira en sus aspectos ecológico.....	36
5.1.1 Ubicación de la subcuenca del río Brakira.....	36
5.1.2 Elementos de los factores bióticos.....	37
5.1.2.1 Flora.....	37
5.1.2.2 La fauna.....	39
5.2 Elementos de los factores abióticos .....	40
5.2.1 Clima.....	40
5.3 Geología .....	41
5.3.1 Elevaciones de la subcuenca del río Brakira.....	43
5.4 Suelo .....	44
5.5 Uso potencial.....	44
5.6 Red de drenaje.....	45
5.6.1 Perfil longitudinal de la subcuenca del río Brakira.....	47
5.6.2 Parámetro de forma y escurrimiento superficial.....	47
5.7 Estimación del volumen extraído de grava y arena de la parte media y alta de la subcuenca del río Brakira.....	48
5.7.1 Georeferenciación de los sitios de extracción de grava y arena.....	49
5.8 Selección de las áreas de muestreo o de mayor afectación por la actividad de extracción de grava y arena.....	50
5.9 Volumen extraído de material selecto (grava y arena).....	51
5.10 Pérdida de suelo por la erosión hídrica en las áreas de mayor extracción de grava y arena (parte media y alta).....	53
5.10.1 Niveles de pérdida de suelo.....	55

5.10.2 Pérdida de suelo en las diferentes partes de la subcuenca del río Brakira .....	56
5.11 Determinación del caudal y calidad del agua superficial del río Brakira .....	56
5.11.1 Velocidad promedio del agua superficial del río Brakira en periodo de verano e invierno.....	56
5.11.2 Caudal del agua superficial en verano e invierno.....	57
5.12 Calidad del agua superficial del río Brakira .....	58
5.12.1 Calidad de agua del acueducto de Tuapí.....	59
5.13 Medidas de mitigación .....	61
VI. CONCLUSIONES .....	64
VII. RECOMENDACIONES .....	65
VIII. BIBLIOGRAFIA .....	67
IX. ANEXO .....	71

## ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1. Macrolocalización de la subcuenca del río Brakira.....	36
Mapa 2. Ecosistemas de la subcuenca del Brakira.....	37
Mapa 3. Mapa de geología de la subcuenca del río Brakira.....	41
Mapa 4. Rango de elevaciones de la subcuenca del río Brakira.....	43
Mapa 5. Red de drenaje y tributarios de la subcuenca del río Brakira.....	46
Mapa 6. Parámetro de forma de la subcuenca del río Brakira.....	48
Mapa 7. Sitios afectados por la extracción de grava y arena en la parte media y alta de la subcuenca del río Brakira.....	49
Mapa 8. Distribución espacial de los volúmenes extraído de grava en la parte media y alta de la subcuenca del río Brakira.....	51
Mapa 9. Distribución espacial de los volúmenes extraído de arena en la parte media y alta de la subcuenca del río Brakira.....	52

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. División de cuenca hidrográfica y cuenca hidrológica.....	6
Figura 2. División de cuencas hidrográficas, según la red de drenaje .....	9
Figura 3. División de la cuenca hidrográfica por su altitud .....	9
Figura 4. Proceso de erosión geológica a través del proceso de Latolización.....	18
Figura 5. Pérdida de suelo por la acción de la intervención del hombre.....	18



Figura 6. Esquema de las unidades o áreas de muestreo en la parte media y alta de la subcuenca del río Brakira.....	26
Figura 7. Unidad de muestreo para determinar la pérdida de suelo en la subcuenca del río Brakira.....	32
Figura 8. Distribución porcentual del periodo geológico de la subcuenca del río Brakira.....	42
Figura 9. Perfil longitudinal de la subcuenca del río Brakira.....	47
Figura 10. Caudal de los aforos de la parte media y baja, para los periodos de verano e invierno.....	57
Figura 11. Porcentaje de la población con servicio y sin el servicio de agua potable en la ciudad de Bilwi.....	61

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Indicadores de la calidad de gua, según MS/OPS.....	20
Cuadro 2. Normas de calidad de agua para consumo humano (CAPRE).....	21
Cuadro 3. Ecosistemas de la subcuenca.....	38
Cuadro 4. Especies de floras en la subcuenca.....	38
Cuadro 5. Especies de aves comunes en la subcuenca.....	39
Cuadro 6. Especies de reptiles comunes en el área de la subcuenca.....	39
Cuadro 7. Formación geológica en la subcuenca del río Brakira.....	42
Cuadro 8. Orden de las corrientes, longitud y número de afluentes.....	46
Cuadro 9. Áreas afectadas por la extracción de materiales selectos (ha).....	50
Cuadro 10. Volumen de grava y arena extraídas en la subcuenca.....	53
Cuadro 11. Comparación de pérdida de suelo con la norma INTA.....	54
Cuadro 12. Niveles de pérdida de suelo por erosión hídrica.....	55
Cuadro 13. Pérdida de suelo en las partes media y alta de la subcuenca, según (Cubero 1996).....	56
Cuadro 14. Velocidad promedia del agua superficial en verano e invierno de la subcuenca del río Brakira.....	57
Cuadro 15. Parámetros del agua superficial del río Brakira del año 2008, con relación a la norma OMS/OPS y norma CAPRE.....	58
Cuadro 16. Resultado del análisis del agua cruda de la subcuenca de la subcuenca río Brakira.....	59
Cuadro 17. Parámetros del agua del acueducto de Tuapí del año 2008 relacionada con las normas OMS/OPS y CAPRE.....	60

## Resumen

El estudio se realizó en la subcuenca del río Brakira, perteneciente a la cuenca del río Ulang; administrativamente concierne al territorio de la comunidad indígena de Tuapí, municipio de Puerto Cabezas, RAAN, Nicaragua. Tiene por objetivo evaluar el efecto de la actividad de extracción de grava y arena sobre el agua superficial de la subcuenca del río Brakira a través del análisis técnico-científico y social. El proceso metodológico fue desarrollado en cuatro etapas: la primera etapa, correspondió a la caracterización ecológica en sus aspectos bióticos y abióticos con énfasis en el recurso hídrico, la cual incumbió la redelimitación de la subcuenca en sus aspectos físicos; la segunda etapa, enfatiza la valoración de los efectos de la actividad de extracción de grava y arena sobre el agua superficial; la tercera, desarrolla el análisis de la estimación del material erosionado o pérdida de suelo, y como está repercutiendo en la calidad y cantidad del mismo; finalmente la cuarta y última etapa propone medidas de mitigación o correctivas a corto (5 años), mediano (10 años) y largo plazo (15 años). En el proceso investigativo se manipuló el programa ArcView 3.3, Microsoft Excel y Word, y metodologías como; medición de caudal, poligonización, plantillas de puntos, clavos y arandelas, entre otras.

Como resultado se obtuvo un área de 14,38 km<sup>2</sup> de la subcuenca, predominando el bosque de pino o de sabana en más del 90% del área total, una geología aluvional de materiales recientes no consolidados de grava y arena útil como material de construcción local, un suelo de orden Ultisol, con pérdida de entre 264 - 360 ton/ha/año (11 - 15 mm/año). Asimismo, se identificaron 933 sitios de extracción de grava y arena en la parte media y alta, constituyendo una superficie afectada de 13,16 ha y un volumen extraído de 26186,65 m<sup>3</sup>, equivalente a 9492660,63 córdobas. En la comparación cuantitativa de los parámetros de calidad de agua, según la norma OMS/OPS y CAPRE indican que el agua cruda superficial del río Brakira no llena los requerimientos de agua de consumo humano, en cambio el agua tratada (agua del acueducto de Tuapí), pasa ciertos requerimientos. Finalmente se constituyeron medidas de mitigación o correctivas, definidas bajo el análisis de los resultados encontrados, y que constituyen acciones graduales que atacan las causas negativas a los problemas de extracción de grava y arena de la parte media y alta de la subcuenca, para periodos de corto (5 años), medianas (10 años) y largo plazo (15 años).

## I. INTRODUCCIÓN

El presente estudio trata de evaluar los efectos de la actividad de extracción de grava y arena sobre la calidad y cantidad del agua superficial de la subcuenca del río Brakira, la cual ostenta una superficie aproximada de 14,38 km<sup>2</sup> (1438,4 ha); administrativamente pertenece a la comunidad indígena (miskita) de Tuapí, localiza a 7 km al Norte de la ciudad de Bilwi, del municipio de Puerto Cabezas, RAAN. Su importancia socioeconómica reside en que ha constituido en la principal fuente de agua para consumo humano de la población de la ciudad de Bilwi, abasteciendo cerca de 10614 familias<sup>1</sup> de las cuales 2400 familias (representando el 27%) son los usuarios registrados en la Empresa Nacional de Acueducto y Alcantarillado (ENACAL), el restante 8214 (73%) son los usuarios no registrados o indirectos, debido a que obtienen el vital líquido de diferentes maneras: en primera instancia acuden al vecino que cuentan con el servicio y establecen un arreglo informal de pago con carácter de mancomunidad; de no conseguir este arreglo, proceden a conectarse a la tubería principal de manera ilegal; en tercera instancia, aunque en cantidades reducidas concurren a la compra de agua ofertada por las mini-empresas purificadoras o por dueños de cisternas (pipas), y en último lugar, la obtienen de la estación de bombero, en donde el precio es más asequible a los bolsillos de las familias con menores recursos económicos (ENACAL 2008).

Entre las características ecológicas que sobresalen en la subcuenca, y que la hacen merecedora de una atención por parte de las autoridades competentes, se mencionan: 1) las 13 nacientes o ojos de agua, que alimentan un cauce principal permanente; 2) la parte baja de la subcuenca o desembocadura, que corresponde a un área de transición entre el mar Caribe y el río Brakira, lo que significa que en marea alta existe una influencia marítima que modifica temporalmente la fauna (especies estearinas) y la calidad del agua, pasando de dulce a salobre; y finalmente 3) su geología, que describe una predominancia de suelos aluvionales, compuesta en su totalidad por materiales selectos de grava y arena útiles para la construcción local; característica que ha provocado una actividad desordenada de extracción del material selecto (grava y

---

<sup>1</sup> En la ciudad de Bilwi el promedio de individuos por familias corresponde a 5,4; resultando 57315,6 habitantes en las 10614 familias registradas (ENACAL 2008).

arena), y que ocasionando efectos negativos, tales como: la destrucción de la vegetación natural, disminución de la franja del bosque ribereño, aumento de la turbidez del agua superficial a causa del incremento de la erosión laminar, y pérdidas de miles de metros cúbicos de materiales selecto de grava y arena, dejando a su paso considerables baches (huecos) en la parte media y alta de la subcuenca. De acuerdo al estudio llevado a cabo por la municipalidad de Bilwi en el año 2005, más del 10% del área de la subcuenca ha sido afectada por la actividad de extracción, y que las mayores afectaciones se visualizan en la parte alta; además, que esta parte, está siendo utilizada como basurero clandestino, causando contaminación al suelo y al agua superficial y subterránea por medio de la infiltración de los residuos líquidos.

Como consecuencia de la actividad de extracción de grava y arena, y el bombeo continuó del agua superficial por parte de ENACAL, el río de la subcuenca ha acumulado sedimentos, a tal grado que en época de verano se dificulta su succión, y en consecuencia su distribución a la ciudad de Bilwi. Bajo este escenario se pone de manifiesto, que la falta de medidas regulatorias y de control ambiental por parte de las autoridades municipales y regionales, podría poner en peligro, en un futuro no muy lejano el abastecimiento del agua a la ciudad de Bilwi.

Entre las razones que justifican la realización de la presente investigación se resaltan:

1. La caracterización de la subcuenca en sus aspectos ecológicos (biótico y abiótico), con énfasis en el recurso hídrico superficial; debido a que son los componentes importantes del paisaje, y en muchos casos los únicos para identificar fortalezas y fragilidades del sistema (flora y fauna), así como su relación con los demás elementos del subsistema presentes en la subcuenca.
2. La valoración de los efectos de la actividad de extracción de grava y arena sobre el agua superficial del río Brakira, y su distribución espacial del volumen de material extraído en la parte media y alta de la subcuenca. Esta valoración no solo involucra el concepto técnico en el sentido de estimar el volumen extraído y las áreas afectadas, y como se está afectando al recurso hídrico, sino más



bien, dar las pautas iniciales de la oferta del material selecto de la subcuenca, para así poder asistir en un futuro al libre juego de la oferta y de la demanda, y encontrar los precios monetarios, mediante la internalización de las externalidades que crea esta actividad económica o el reconocimiento del valor económico por la vía de la valoración de los servicios ambientales.

3. La estimación del material erosionado o pérdida de suelo, y como repercute en la calidad y cantidad del agua superficial del río Brakira. Esta razón tiene su justificación, en que solo a través de una cuantificación real de pérdida de suelo en ton/ha/año, podemos darnos cuentas de las derivaciones negativas, que provocaría al recurso hídrico y al ecosistema en general.
4. Posteriormente, a través de los resultados de la investigación, poder constituir medidas correctivas o de mitigación por periodos de corto (5 años), mediano (10 años) y largo plazo (15 años), todo con el propósito de poder equilibrar la actividad de extracción de grava y arena, con actividades conservacionistas del ambiente. Asimismo, poder constituir nuevas propuestas de investigación, programas y/o proyectos ambientales, dirigido a la conservación sostenible de la parte media y alta de la subcuenca.

Del mismo modo, estos resultados permitirán en parte a los organismos reguladores del ambiente como el Ministerio del Ambiente (MARENA) y la Secretaria de Recursos Naturales del Gobierno Regional (SERENA), contar con los elementos de base para establecer en un futuro no muy lejano zonas de protección y/o conservación del recurso hídrico, sobre la base de una valoración de los servicios ambientales. En definitiva, la investigación pretende promover procesos socio-ambientales, en donde todos los actores consideren la participación de la comunidad indígena como los sujetos activos de la gestión del riesgo ante el despale, la extracción de grava y arena, y la alteración en la calidad y cantidad del agua superficial del río Brakira.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

Evaluar los efectos de la actividad de extracción de grava y arena sobre la calidad y cantidad del agua superficial de la subcuenca del río Brakira, comunidad indígena de Tuapí, Puerto Cabezas, RAAN, Nicaragua.

### **2.2 Objetivos específicos**

1. Caracterizar la subcuenca en su aspecto ecológico, con énfasis en el recurso hídrico superficial.
2. Estimar el volumen de material extraído de grava y arena, y su distribución espacial en la parte media y alta de la subcuenca.
3. Cuantificar la pérdida de suelo por erosión hídrica en las áreas de mayor afectación por la actividad de extracción de grava y arena.
4. Determinar el caudal y calidad del agua superficial de la subcuenca del río Brakira.
5. Establecer medidas de mitigación a corto, mediano y largo plazo, con fines de protección y/o conservación del recurso hídrico.

### **2.3 Hipótesis/supuesto**

La actividad de extracción de grava y arena, está repercutiendo negativamente en la calidad y cantidad del agua superficial del río Brakira.

Las medidas de mitigación a corto, mediano y largo plazo establecidas a través del análisis de los resultados, constituyen el carácter correctivo a los problemas actuales de la subcuenca del río Brakira.

### **III. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 Caracterización ecológica**

Morales (2001), expresa que la caracterización ecológica consiste en la descripción y análisis de los componentes de un ecosistema más relevantes de un área, con el propósito de identificar sus relaciones con los demás elementos de la naturaleza y reconocer las interacciones para la existencia de la biodiversidad. De acuerdo a Rodríguez (1996), el objeto de la caracterización ecológica consiste en describir el área a un nivel de detalle que permita planificar alternativas apropiadas.

#### **3.2 Concepto de cuenca hidrográfica e hidrológica**

##### **3.2.1 Cuenca hidrográfica**

Desde el punto de vista geofísico, la cuenca hidrográfica se define como una unidad natural, cuyos límites físicos son definidos por la divisoria superficial de las aguas, también conocida como *parte aguas o línea divisoria*, que ante la ocurrencia de precipitaciones y la existencia de flujos o caudales base, permite configurar una red de drenaje superficial que canaliza las aguas hacia otro río, al mar, o a otros cuerpos de agua, como los lagos y embalses artificiales y naturales, desde la parte más alta de la cuenca hasta su punto de emisión en la zona de menor altitud. Sin embargo, el concepto integral (biofísico y socioeconómico) es mucho más complejo, y se refiere a la unidad de gestión territorial definida fundamentalmente por la red de drenaje superficial, en la cual interacciona biofísica y socioeconómicamente el ser humano, los recursos naturales, los ecosistemas y el ambiente, con el agua como el recurso que une e integra sistémicamente la cuenca (Jiménez 2007).

De acuerdo a Ramakrishna (1997), la cuenca hidrográfica es un área natural donde el agua proveniente de la precipitación y forma un curso principal. También la define como la unidad fisiográfica conformada por el conjunto de los sistemas de cursos de agua definidos por el relieve, donde los límites de una cuenca o divisoria de aguas se definen naturalmente y corresponden a las partes más altas del área que encierra a un río.

Morales (1999a), manifiesta que la cuenca, es la superficie de terreno, que recoge las aguas de lluvia y las concentran en un solo desagadero, cuya superficie está delimitada por la línea de separación de aguas superficiales que provienen de la precipitación, la cual pasa por los puntos más altos entre las redes naturales de drenaje del territorio.

### 3.2.2 Cuenca hidrológica

La definición de cuenca hidrológica es más integral que la de cuenca hidrográfica, ya que son unidades morfológicas integrales y que además de incluir todo el concepto de cuencas hidrográficas, abarcan en su contenido, toda la estructura hidrológica subterránea del acuífero como un todo (Faustino 2007). Por ejemplo, cuando la división de la cuenca hidrográfica es diferente de la división de la cuenca hidrológica, los flujos sub-superficiales y el movimiento del agua en el suelo se presenta de la siguiente manera (Figura 1).

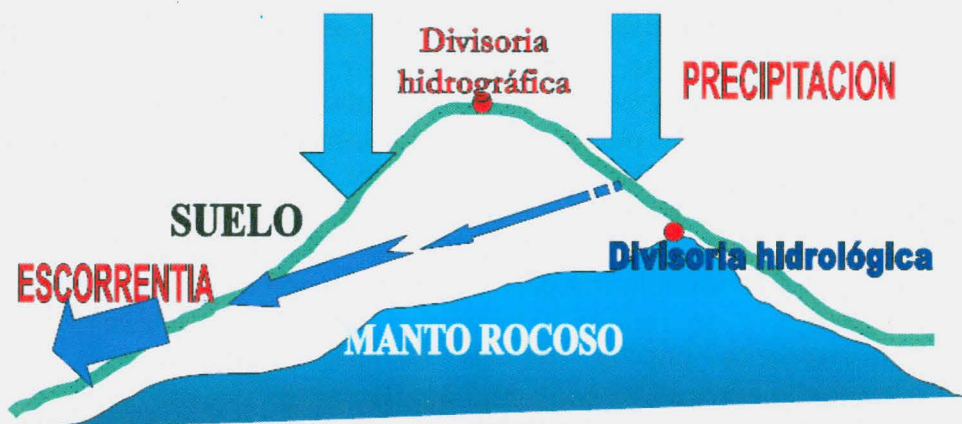


Figura 1. División de cuenca hidrográfica y cuenca hidrológica  
Fuente: Faustino (2007); Watler (2008)

Watler (2008), plantea el concepto de cuenca, como integral y muchas veces difícil de concebir, debido a que los agentes externos e internos (sub-sistemas) tienen una interrelación para su existencia, y es compleja por los diversos recursos que la integran.



### **3.2.3 La cuenca como unidad de planificación, manejo, gestión y cogestión de los recursos naturales**

Jiménez (2007), plantea que el manejo de cuencas hidrográficas, es una unidad hidrológica como el escenario biofísico y socioeconómico natural y lógico para la caracterización, diagnóstico, planificación, implementación, ejecución, seguimiento y evaluación del uso de los recursos naturales, así como para el análisis ambiental. Bajo este enfoque, las unidades de producción, por ejemplo la finca, son ámbito adecuado para implementar el manejo de los recursos, según la vocación de la cuenca, su capacidad de carga y la dinámica de su entorno ecológico y socioeconómico; donde la integración de todas las unidades bien manejadas permitirá articular el manejo adecuado de la cuenca.

Una pregunta frecuente es ¿por qué usar la cuenca como una unidad de planificación, manejo, gestión y cogestión de los recursos naturales y el ambiente, y no los límites políticos o administrativos ya establecidos? en principio, la respuesta es simplemente porque las cuencas son las formas geomorfológicamente superficiales y naturales de la tierra que captan y concentran la oferta hídrica que proviene de las precipitaciones, la cual se distribuye luego en diferentes flujos hídricos.

Para Dourojeanni (1994), la gestión es un proceso donde el ser humano realiza un conjunto de acciones planificadas, coordinadas, organizadas y consensuadas, para administrar y manejar adecuadamente la unidad hidrológica, considerando su efecto y la dinámica del sistema. En general, el proceso en el cual se efectúa este conjunto de acciones ha sido catalogado como acciones de gestión a nivel de cuencas o simplemente gestión de cuencas; estas actividades de gestión tienen por objetivos: 1) el desarrollo de cuencas o desarrollo integrado de cuencas; 2) el manejo de cuencas u ordenamiento (planificación); 3) el desarrollo de recursos hídricos o administración del agua; y finalmente 4) la protección y recuperación de las cuencas hidrográficas.

En lo que concierne a la cogestión el término, es un enfoque novedoso, que se define como la gestión conjunta, compartida y colaborativa, mediante la cual, diferentes actores locales como productores, grupos

organizados, gobiernos locales, empresa privada, organizaciones no gubernamentales, instituciones nacionales, organismos donantes y cooperantes integran esfuerzos, recursos, experiencias y conocimientos para desarrollar procesos dirigidos a lograr impactos favorables y de sostenibilidad en el manejo de los recursos naturales y del ambiente en las cuencas hidrográficas, a periodos de corto, mediano y largo plazo (Jiménez 2007).

### 3.2.4 Componentes de la cuenca

De acuerdo a Morales (1999b), los componentes que conforman una cuenca son: biofísicos (agua, suelo, vegetación, flora, fauna, subsuelo y clima); biológicos (flora y la fauna) y antropogénicos (socioeconómicos, culturales e institucionales), que están todos interrelacionados y en equilibrio entre sí, por lo que al afectarse uno de ellos se produce un desbalance que pone en peligro todo el sistema. Se comparte el planteamiento de Morales, debido a que la subcuenca del río Brakira, ha mostrado que las acciones negativas del hombre a través de su actividad de extracción de grava y arena, sin ningún control, está afectando los sistemas suelo y bosques, y estos a su vez la calidad y cantidad del agua superficial.

### 3.2.5 Partes y división de una cuenca

Una cuenca hidrográfica puede dividirse atendiendo diferentes criterios. Por ejemplo, atendiendo al grado de concentración de la red de drenaje, define unidades menores como subcuencas, microcuencas y quebradas (Figura 2). **Subcuenca:** es toda área que desarrolla su drenaje directamente al curso principal de la cuenca; varias subcuencas pueden conformar una cuenca. **Microcuenca:** es toda área que desarrolla su drenaje directamente a la corriente principal de una subcuenca; varias microcuencas pueden conformar una subcuenca. **Quebradas:** es toda área que desarrolla su drenaje directamente a la corriente principal de una microcuenca; varias quebradas pueden conformar una microcuenca, muchas a veces estos cursos de agua se interceptan directamente a los grandes ríos y cuerpos de agua. En seguida se esquematiza la división de cuencas hidrográficas, según la red de drenaje predominante (Jiménez 2007; Faustino 2007; Watler 2009a).



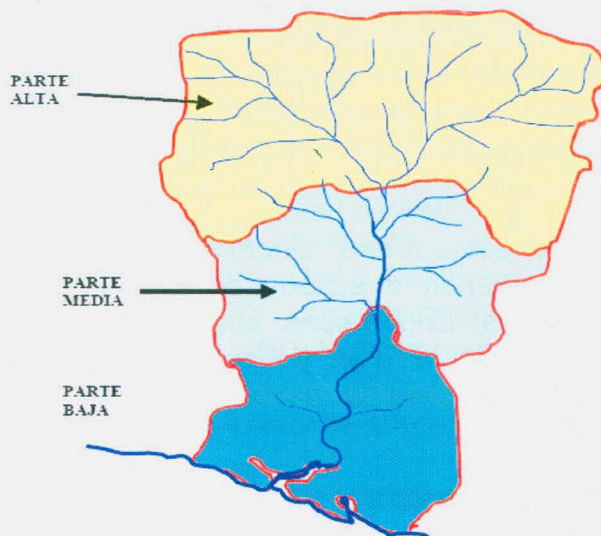


Figura 2. División de cuencas hidrográficas, según la red de drenaje  
Fuente: Jiménez (2007); Faustino (2007); Watler (2009a)

Del mismo modo, la cuenca puede dividirse en “parte alta, media y baja”, esto generalmente se realiza en función a las características del relieve, altura y aspectos climáticos (Figura 3).

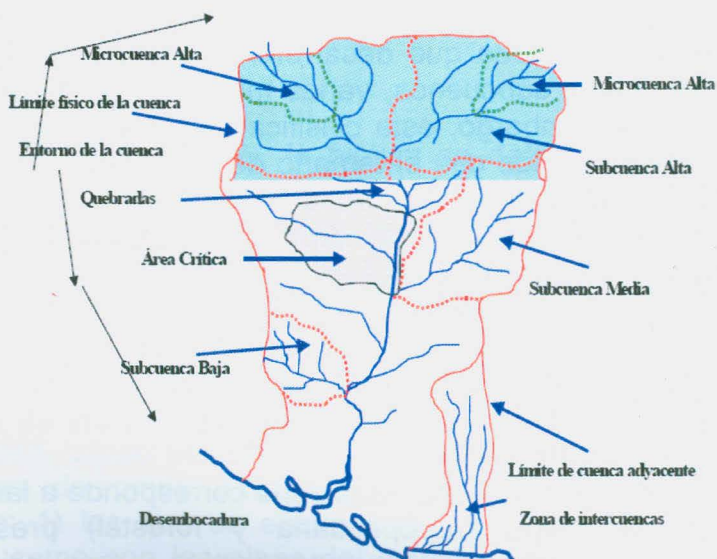


Figura 3. División de la cuenca hidrográfica por su altitud  
Fuente: Jiménez (2007); Faustino (2007); Watler (2009a)

### 3.2.6 Clasificación de las cuencas hidrográficas por su sistema de drenaje y conducción final

Estas se clasifican en: *Arréicas*; cuando no logran drenar a un río, mar o lago, y sus aguas se pierden por evaporación o infiltración sin llegar a formar escurrimiento subterráneo; *Criptorréicas*; cuando sus redes de drenaje superficial no tienen un sistema organizado o aparente y corren como ríos subterráneos; *Endorréicas*; cuando sus aguas drenan a un embalse o lago sin llegar al mar; y *Exorréicas*; cuando las vertientes conducen las aguas a un sistema mayor de drenaje como un gran río o mar (Faustino 1996).

### 3.2.7 Clasificación de cuencas

Faustino (1996), clasifica las cuencas hidrográficas atendiendo el grado de concentración de las redes de drenajes, y las divide en unidades menores tales como: subcuencas y microcuencas.

*Subcuencas*: es toda área que desarrolla su drenaje directamente al curso principal de la cuenca; varias subcuencas forman una cuenca.

*Microcuencas*: es toda área que desarrolla su drenaje directamente al curso principal de una subcuenca, varias microcuencas pueden formar una subcuenca. Sin embargo, esta clasificación no es la única, existen otros criterios relacionados con el tamaño de la cuenca y el número de orden de las corrientes. En ese sentido IRENA en el año 1980, citado por Morales (2001), estableció una clasificación de cuenca basada en zonas hidrológicas, tales como:

- ❖ *Zona alta o de aporte*: corresponde a áreas que originan las nacientes de los ríos, y están destinadas a zonas de protección ó a sistemas agrosilvopastoriles, habitualmente en ellas se concentran las pendientes más fuertes.
- ❖ *Zona de contracción o media*: esta zona corresponde a las de mayor intensidad productora (agropecuaria y forestal) presentan las mayores degradaciones y/o pendientes pronunciadas, en comparación a la zona de aporte.



- ❖ *Zona de depositación o baja*: son las áreas más planas conocidas como valles, en ella predomina la explotación intensiva, y los efectos de inundación y sedimentación son los más evidentes.

Miranda y Pereira (2002), en ese sentido exponen que la subcuenca del río Brakira se compone de tres zonas, las cuales fueron definidas por sus rangos de altitudes (msnm). Dicha definición fue efectuada de la siguiente manera; la zona alta fue clasificada con los rangos de 30 - 50 msnm, la zona media entre 20 - 30 y la zona baja de 0 - 20.

### **3.3 Caracterización ecológica de una cuenca hidrográfica**

Guevara et al. (1999), definen la característica ecológica de una cuenca hidrográfica como el estudio de las relaciones mutuas de los organismos, con sus medios ambientes físicos denominados factores bióticos y abióticos, que depende de los seres vivos que lo rodean. Asimismo Guevara et al. (1999), manifiestan que los animales, la vegetación, los hongos, las bacterias y otros microorganismos, que constituye una comunidad son los elementos bióticos; en cambio el aire, suelo, agua, nitrógeno, carbono, las rocas, los factores climáticos, y la luz constituyen los componentes abióticos.

#### **3.3.1 Bióticos**

De acuerdo a Odum (1972), lo biótico se define como la reunión de poblaciones que viven en una área o en un hábitat físico determinado; o bien en una unidad laxamente organizada, hasta el punto de poseer características complementarias de sus Individuales y de poblaciones, y que funcionan como unidad de transformaciones.

##### **3.3.1.1 Flora**

Radley (1960), citado por Miranda y Pereira (2002), establecen que en las sabanas de pinos existen dos comunidades vegetativas bien distinguidas; 1) las que se encuentran por encima de los niveles de inundación como son los pinos del Caribe; y 2) los árboles pirofíticos (que atraen el fuego), así como hierbas y plantas que se consideran

típicas del bosque húmedo, las cuales se ubican en islas, qué no se queman por los altos niveles de humedad en el área.

Referente a la subcuenta del río Brakira existen tres tipos de ecosistemas o bosques predominantes: 1) bosque de pinares o de sabana; 2) bosque de galería; y el 3) bosque de mangle (Miranda y Pereira 2002).

### 3.3.1.2 Fauna

De acuerdo a Guevara et al. (1999), la vida silvestre (fauna) se caracteriza por la presencia de aves, especies de reptiles y en ríos especímenes de peces. Además, si un sitio se encuentra próximo a la zona costera, ésta corresponde a la reproducción de especies estearinas por su proximidad al mar.

### 3.3.2 Abiótico

Los factores abióticos son los distintos componentes que determinan el espacio físico en el cual habitan los seres vivos, entre los más trascendentales podemos encontrar: el agua, la temperatura, la luz, el suelo y los nutrientes; los cuales pueden corresponder a los principales frenos del crecimiento de la población (Guevara et al. 1999).

#### 3.3.2.1 Suelo

La capa más externa de la corteza terrestre se denomina suelo y ocupa el 29% de la superficie terrestre. El suelo se considera como el medio natural para el desarrollo de las plantas, y está limitado en profundidad hasta donde penetran las raíces de las plantas (Hilda 2008).

De acuerdo a los apuntes de la asignatura de Edafología (Watler 2009b), el concepto **básico de suelo** desde el punto de vista Edafológico, es igual a decir; *SUELO = PERFIL + PAISAJE*, considerado como un cuerpo dinámico en muchas de sus características. Donde: el *PERFIL*, no es más que el desarrollo del suelo por la influencia de los factores formadores, tales como: relieve, organismos, clima y el tiempo; actuando sobre el material parental (roca), y produciendo el perfil o suelo que

evoluciona en el tiempo; y el *PAISAJE*, como la unidad morfológica de la superficie de la tierra, a la que pertenece una unidad climática y geológica típica del entorno ambiental.

La definición de suelo, aceptada por la **Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo**: *"Es el material parental no consolidado sobre la superficie de la Tierra, que sirve como medio natural para el crecimiento de las plantas... y que ha estado sujeto por factores genéticos y del medio ambiente que son; el material parental (roca), el clima, organismos y topografía, actuando dentro de un periodo de tiempo y originando un producto (suelo), que difiere del material al cual se deriva"*. Finalmente damos a conocer una definición **generalizada del suelo**; como un cuerpo natural, tridimensional, trifásico y dinámico, que ocupa un lugar en el espacio, y que contiene características únicas, producto de la transformación del material parental a través de procesos meteorológicos, que finalmente se expresan en un perfil de suelo con horizontes o estratos.

### 3.3.2.2 Red de drenaje

Se entiende por red de drenaje al conjunto de sistemas fluviales (ríos y riachuelos), que son conductores de agua superficial y/o subterránea, constituidos de forma natural producto de la precipitación y que tiene una relación entre sí. (Espasa 1999).

### 3.3.2.3 Roca o material parental

Se denota roca o material parental a un sólido constituido por un conjunto de minerales, acompañado o no por fragmentos de otras rocas o restos de organismos; conformadas en su totalidad por minerales inorgánicos, en donde la mayoría de las cuales son silicatos<sup>2</sup> o aluminios de elementos básicos (Ca, K, Na y Mg), que definen las características del color, brillo, dureza, estructuras cristalinas, composición química, forma o simetría, entre otras particulares (Watler 2008).

---

<sup>2</sup> Silicatos (silicio + oxígeno). Silicio; el silicio es un elemento químico metaloide, número atómico 14 y situado en el grupo 4 de la tabla periódica de los elementos formando parte de la familia de los carbonoideos. Es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre (27,7% en peso) después del oxígeno. Se presenta en forma amorfa y cristalizada; el primero es un polvo parduzco, más activo que la variante cristalina, que se presenta en octaedros de color azul grisáceo y brillo metálico.

### **3.3.2.4 Elementos del clima**

Se define como elementos del clima al conjunto de componentes que lo caracterizan y que interactúan entre sí en las capas inferiores de la atmósfera, llamada troposfera. Estos componentes o elementos son el producto de las relaciones que se producen entre distintos fenómenos físicos que le dan origen, y que a su vez se relacionan con otros elementos. Entre los elementos del clima más conocidos están: la temperatura, la humedad, presión atmosférica, el viento, la precipitación, la radiación solar, y las nubes (Brenes et al. 2000).

#### **3.3.2.4.1 Temperatura**

Hudson (1991), manifiesta que la temperatura como elemento del clima es vital para el desarrollo de las diferentes especies y seres vivos. Está junto con la precipitación pluvial, determina en gran medida el desarrollo de los procesos biológicos y ecológicos; además, actúa en el proceso de erosión, ya que de manera indirecta y través de su influencia acelera a otros agentes como; la evaporación, precipitación y la velocidad del viento en procesos físicos.

Salas (1993), afirma que la temperatura media anual de la Costa Caribe Nicaragüense corresponde a 25 °C, siendo la época más calurosa del año los meses de abril – mayo, cuando alcanzan rangos entre 25,8 - 27,4 °C, y el período más fresco corresponde a diciembre y enero, con rangos de temperatura que varían entre 23,4 - 23,8 °C. Sin embargo, los valores máximos y mínimos absolutos registrados para la región (RAAN) alcanzan los 36 °C en mayo, y 15,8 °C en diciembre. En relación a la zona de la subcuenca del río Brakira, esta presenta los mismos rangos de temperaturas descritas por Salas en 1993, para las características de la Región Norte de la Costa Caribe Nicaragüense.

#### **3.3.2.4.2 Humedad relativa**

Para Hudson (1991), es la humedad que contiene una masa de aire en relación a la máxima humedad absoluta que podría admitirse sin producirse condensación, conservando las mismas condiciones de

temperatura y presión atmosférica. Esta definición corresponde a la forma más habitual de expresar la humedad ambiental.

#### **3.3.2.4.3 Presión atmosférica**

Brenes et al. (2000), definen la presión atmosférica como la fuerza que ejerce la atmósfera sobre cualquier superficie en la tierra. En la actualidad los meteorólogos emplean el hecto pascal (hPa) unidad de medida de la presión en el sistema internacional (SI) de unidades. Por ejemplo, el peso de la atmósfera al nivel medio del mar corresponde a 760 milímetros de mercurio (mm de Hg), equivale a 1013,2 hPa en el SI.

#### **3.3.2.4.4 Vientos**

Para Cubero et al. (1996), viento es todo movimiento horizontal del aire, mientras, que a los movimientos verticales se les considera movimientos conectivos. Según la estación meteorológica del aeropuerto Rigoberto Cabezas de la ciudad de Bilwi, municipio de Puerto Cabezas para el periodo 2008, la dirección del viento en el área de la subcuenca, durante todo el año va de nor-este a este, con ligeras desviaciones de norte a nor-oeste en los meses de noviembre – diciembre.

#### **3.3.2.4.5 Precipitación**

Hudson (1991), manifiesta que en la región del Caribe Nicaragüense el rango de precipitación anual es superior a los 2000 mm, y que en algunas zonas pueden alcanzar los 4800 mm, manteniendo un promedio anual de 3400 mm. Debido a las abundantes lluvias a estas zonas se les denomina zona tropical húmeda a zona muy húmeda.

### **3.4 Métodos para estimar pérdida de suelo por erosión hídrica**

El volumen de suelo perdido se puede determinar mediante el cálculo del área y la profundidad del material o suelo extraída de dicha área. Gleason (1957), citado por Morales (1999), mencionan varios métodos para cuantificar pérdidas de suelo por erosión hídrica; métodos, que tienen por objeto evaluar la cantidad de suelo perdido en un determinado

espacio que se desplaza a cierta distancia durante un tiempo específico. Dicha pérdida se mide volumétricamente, en puntos cuidadosamente seleccionados y representativos o bien en estaciones de medición. En las mediciones directas la cantidad a medir está relacionada con una escala.

Uno de los métodos mayormente conocido es el llamado método de clavos y arandelas, el cual consiste en incrustar en el suelo clavos de acero galvanizado de 15 - 30 cm de largo a diferentes distancias; donde la parte superior del clavo con el nivel del suelo indica los cambios habidos o pérdida del suelo en el nivel superficial. Independientemente del método de campo la erosión laminar puede ser evaluada por la siguiente formula, la cual determina la tasa de suelo perdido.

$$P = h \times A \times Da$$

Donde:

P = pérdida de suelo.

h = altura de la capa de suelo removida.

A = área del terreno (m<sup>2</sup>).

Da = densidad aparente.

El cálculo del volumen total de suelo perdido corresponderá a la suma de los volúmenes calculados. En seguida se escribe la ecuación matemática:

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 \dots V_n$$

Donde:

V<sub>T</sub> = volumen total, unidad de medición (m<sup>3</sup>).

V<sub>1</sub> = volumen uno.

V<sub>2</sub> = volumen dos.

V<sub>3</sub> = volumen tres.

V<sub>4</sub> = número de volúmenes calculados en el área de estudio.

Para Morales (1999), la pérdida de suelo se agrupa en seis clases de riesgo potencial de erosión hídrica y de capa arable, las cuales son: 1) extremadamente alta: corresponde a una pérdida de suelo superior a 1400 ton/ha/año y más de 10 cm de capa arable; 2) muy alta: pérdida de entre 900 - 1000 ton/ha/año y 6,4 - 10 cm de capa arable; 3) alta:

pérdida de 400 - 900 ton/ha/año y 2,9 - 6,4 cm de capa arable; 4) moderadamente alta: pérdida de entre 100 - 400 ton/ha/año y 0,7 - 2,9 cm de capa arable; 5) moderada: pérdida de 40 - 100 ton/ha/año y 0,3 - 0,7 cm de capa arable; y finalmente 6) la clase baja: que concierne a una pérdida de suelo con valores menores a 40 ton/ha/año, y menos de 0,3 cm de capa arable.

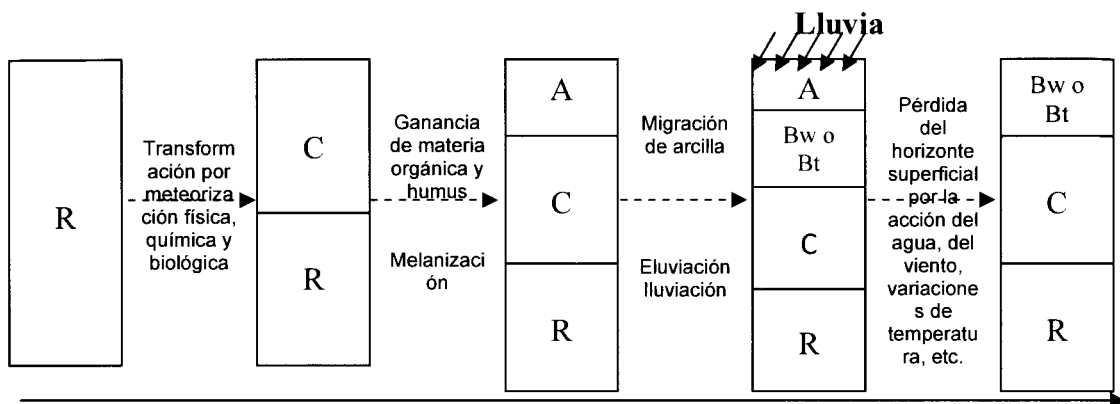
### **3.4.1 Concepto de erosión**

De acuerdo a Morales (1999c), la erosión se define como el proceso de desagregación, transporte y deposición de materiales del suelo por agentes erosivos. En el fenómeno intervienen un objeto pasivo que es el suelo, dos agentes activos que son el agua y el viento, y un intermediario que concierne a la vegetación natural, y que regula sus relaciones. En la investigación el agente activo concierne el agua, exteriorizada a través de un escurrimiento superficial.

#### **3.4.1.1 Clases de erosión y su proceso de pérdida de suelo**

Para Martínez et al. (1990), la erosión es el desgaste continuo que sufren las zonas elevadas de la superficie terrestre por la acción de los agentes erosivos. Generalmente existen dos tipos de erosión: **la erosión geológica**, denominado también erosión normal, telúrica, natural, primaria o histórica, ocurre como consecuencia solamente de las fuerzas de la naturaleza. Dicha erosión se inicia en el mismo instante en que sopla la primera brisa y cayeron las primeras gotas de agua, actúa sin la intervención del hombre y participa en la formación de los suelos. Este tipo de erosión se debe principalmente a la acción del agua, del viento, de las variaciones de temperaturas, de la gravedad y los glaciares; generalmente corresponde a un proceso lento y constante que necesita eras completas en producir cambios importantes en la configuración de la superficie terrestre.

La magnitud del desgaste producido por la erosión geológica unida a los complejos edafo-genéticos, determina el tipo de suelo formado y su distribución en la superficie de la tierra. En la Figura 4 se esquematiza la erosión geológica o normal del suelo, a través del proceso de latolización, así como el proceso de la pérdida de suelo (Watler 2009b).



*Se considera que para formar 1cm de tierra fértil se requiere de aproximadamente 700 años (Ellison 1947)*

*R = Roca.*

*C = Horizonte C Mezcla de roca meteorizada por proceso físicos, químicos y biológicos.*

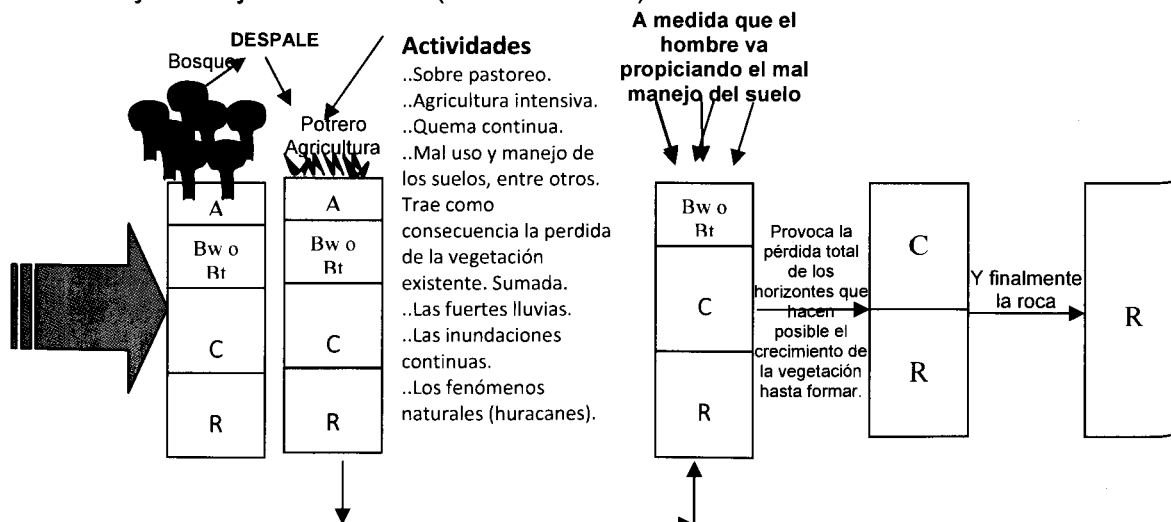
*A = Horizonte A formado por la descomposición de materia orgánica y humos.*

*Bw o Bt = Bw Horizonte cámbico formado por la acumulación parcial de arcilla proveniente del horizonte A, y Bt = Horizonte argílico formado por la acumulación total de arcilla y materia orgánica en total descomposición.*

**Figura 4. Proceso de erosión geológica a través del proceso de latolización**

*Fuente: Watler (2009b)*

La **erosión inducida**, conocida también como erosión acelerada, edáfica, sub-normal, secundaria o antrópicas se presenta cuando a la acción de los agentes naturales se le agrega la acción del hombre. En la Figura 5 se ilustra el proceso de pérdida de suelo por la acción directa de la intervención del hombre (erosión antrópicas), propiciada por el mal uso y manejo de la tierra (Watler 2009b).



**Figura 5. Pérdida de suelo por la acción de la intervención del hombre**

*Fuente: Watler (2009b)*



En la Figura 5 se esquematiza el proceso de pérdida de suelo maduro con horizontes A – Bw/Bt – C – R, cubierto de vegetación exuberante (típico de un bosque de la RAAN), donde el proceso de la erosión inducida inicia en el instante en que el hombre **despala**, y utiliza el terreno con actividades agrícolas o pecuarias, y a medida que las actividades se intensifican, el suelo va desvaneciendo continuamente hasta formar un suelo erosionado o poco fértil, y en última instancia la afloración del material parental o roca (Watler 2009b).

En ese sentido Morales (1999c), manifiesta que los principales factores que determinan la erosión del suelo causada por el agua son; el clima, las características del suelo, la vegetación, el relieve (topografía) y el hombre.

### 3.5 El caudal de un río

El caudal de un río se define, como la cantidad o volumen de agua que pasa por una sección transversal determinada en un tiempo dado. La sección está en función de la unidad de medida (metros cuadrados), y la cantidad de agua que atraviesa dicha sección en metros/segundos (m/seg). Para la estimación del caudal, existen diversos métodos, uno de los más conocidos es el método de velocidad por superficie (FAO 1981). Para este mismo fin, es usual emplear otro término, como aforo<sup>3</sup>.

Para determinar el caudal de una corriente existen diversos métodos, cada uno aplicable a diversas condiciones, según el tamaño de la corriente o la presión con que se requieran los valores obtenidos. Los métodos más utilizados son: aforos con flotadores; aforos volumétricos; aforos químicos; aforos con vertederos; aforos con correntómetro o molinete; y aforo con medidas de la sección y la pendiente (Villón 2004).

#### 3.5.1 Método de velocidad por superficie

El método de velocidad por superficie mide la velocidad media de la corriente y el área de la sección transversal del canal o río. De acuerdo

<sup>3</sup> Aforar una corriente significa determinar con mediciones, el caudal que pasa por una sección dada y en un momento determinado.

al método, el caudal de un río puede ser calculado a través de la siguiente fórmula:

$$C = A \times V$$

Donde:

C = caudal ( $m^3/seg$ ).

A = área conocida ( $m^2$ ).

V = velocidad superficial promedio de la corriente de agua ( $m/seg$ ).

Siendo la velocidad superficial promedio, equivalente a:

$$V = L / t$$

Donde:

L = longitud del tramo.

t = tiempo que tarda en desplazarse el flotador.

Una forma sencilla de estimar su velocidad, consiste en medir el tiempo que tarda un objeto flotante en recorrer corriente abajo. En ese sentido la velocidad no es más que la distancia recorrida en una unidad de tiempo, medida en ( $m/seg$ ). La unidad de medida del área o superficie de la sección transversal, generalmente es el metro cuadrado ( $m^2$ ).

### 3.6 Calidad de agua

La FAO (1981), exteriorizó que en la escala de calidad de agua para consumo humano se encuentra la aptitud, los objetivos, y las normas. A continuación se muestran los indicadores de calidad de agua para consumo humano, según la OMS/OPS establecido en el año de 1992 (Cuadro 1).

*Cuadro 1. Indicadores de calidad de Agua, según OMS/OPS*

Indicadores	Excelente	Buena	Mala	Rechazable
DBO mg/l	0,75 - 1,5	1,5 - 2,5	2,5 - 4	> 4
Coliformes	50 - 100	100 - 5000	5000 - 20000	> 20000
pH	6,5 - 8,5	5 - 6	3,8 - 5	< 3,8
Cloruros(mg/l)	< 50	50 - 250	250 - 600	> 600
Fluoruros(mg/l)	< 1,5	1,5 - 3	> 3	---

El Cuadro 1 señala las diferentes escalas de categorización de agua para consumo humana, la cual varía de excelente, buena, mala y rechazable; esto con el propósito de poder realizar una comparación numérica o cuantitativa, y al mismo tiempo, establecer el índice de calidad del agua muestreada. Las categorías de excelente y buena corresponden a aquellas concentraciones de sustancias o densidades de bacterias, que a partir del cual no existe rechazo por parte de los consumidores o no surge un riesgo a la salud. El sobrepasar estos valores involucra acciones correctivas inmediatas, por ejemplo, para el caso de las categorías mala y rechazable implican concentraciones altas de sustancias o densidades de bacterias que ponen peligro la salud humana.

Muestreos realizados por INAA<sup>4</sup> en el año de 1991, demuestran que el agua tratada del río Brakira presentan los parámetros mínimos aceptables para su consumo humano, según la comparación de los indicadores establecidos por la OMS/OPS (1992). En seguidamente, en el Cuadro 2 se señalan los parámetros físicos y químicos de calidad del agua para consumo humano, según la norma CAPRE<sup>5</sup>.

*Cuadro 2. Norma de calidad de agua para consumo humano (CAPRE)*

No.	Parámetros y unidad	Valor Recomendable	Valor máximo admisible
1	Coliformes fecales NMP/100 ml	Ausente	Ausente
2	pH	6,5 - 8,5	≤ 8,5
3	DBO <sub>5</sub> mg/l	≤ 2	2,5 - 4
4	Nitrato NO <sub>3</sub> mg/l	≤ 5	≤ 10
5	Fosfato PO <sub>4</sub> mg/l	≤ 0,01	≤ 5
6	Turbidez UNT	≤ 1	≤ 3
7	Temperatura °C	18 - 30	≤ 30
8	Sólidos disueltos totales mg/l	≤ 300	≤ 1000
9	Oxígeno disuelto (OD) mg/l	≥ 5	≤ 4

Fuente: CAPRE<sup>6</sup> (1994)

<sup>4</sup> Instituto Nicaragüense de Acueducto y Alcantarillados.

<sup>5</sup> CAPRE (Comité de Agua Potable para la Región Centro Americana).

<sup>6</sup> Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana

De acuerdo a los parámetros establecidos por la norma CAPRE, Mitchell et al. (1991) argumentan que es necesario realizar las pruebas de los nueve parámetros, para determinar la presencia o ausencia de sustancias en las aguas y definir su índice de calidad. En seguida se describen los nueve parámetros antes mencionados.

1. **Coliformes fecales o termotolerantes**; son los microorganismos coliformes capaces de fermentar la lactosa a 45 °C. Comprende todos los bacilos Gram-negativos, aeróbicos o anaeróbicos facultativos no esporulados que en la técnica de filtración por membrana, producen colonias de color azul dentro de un periodo de 22 - 26 horas cuando se incuban en un medio de cultivos específicos para coliformes fecales de 44.5 ± 0,2 °C dentro de 24 ± 2 horas. Respecto a los *coliformes totales*; son bacterias Gram-negativas, bastante heterogéneas. Incluye bacterias fermentadoras de la lactosa como *Enterobacter cloacae* y *Citrobacter freundii*, que pueden estar en heces como en el ambiente.
2. **pH**; es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución, indica la concentración de hidrogeniones de una disolución o la concentración de iones o cationes hidrógeno [H<sup>+</sup>] presentes en una determinada sustancia. Típicamente va de 0 - 14 en disolución acuosa, siendo ácidas las disoluciones menores a 7, y básicas las que tienen pH mayores a 7, y pH = 7 indica la neutralidad de la disolución (siendo el disolvente agua). La medida del pH constituye un parámetro de importancia para la descripción de los sistemas biológicos y químicos de las aguas naturales.
3. **DBO<sub>5</sub>**; representa la materia orgánica biodegradable. Es la más usada para determinar la eficiencia de los tratamientos que se aplican a los líquidos residuales. Se da cuando ciertas sustancias presentes en las aguas residuales, al verterse a un curso de agua, captan el oxígeno existente debido a la presencia de sustancias químicas reductoras. Es una medida de la estimación de las materias oxidables presentes en el agua, cualquiera que sea su origen orgánico o mineral como el hierro, nitrito, amoníaco, cloruro, y otros.

4. **Nitrógeno**; se encuentra en forma de nitrato y nitrito, son los compuestos que llegan al agua mediante precipitación, escorrentía y por afluentes de industrias alimenticias, aguas residuales domésticas y agrícolas. Las fuentes de nitratos se obtienen de aguas de desechos con un mal tratamiento de drenaje y sistemas sépticos en mal funcionamiento.
5. **Fosfato**; el fosfato orgánico es parte de las plantas y los animales que se adhieren a la materia orgánica, siendo los responsables de la presencia de algas y plantas acuáticas grandes. El exceso de fosfato ocasiona el proceso de eutrofización (enriquecimiento en nutrientes de un ecosistema). El arrastre de tierras cultivadas con compuesto a base de fósforo, y los vertidos de aguas servidas domésticas son la base del fosfato en los ríos.
6. **Temperatura**; considerado un requisito para el pH y la conductividad. Es una medición importante para interpretar los rangos de solubilidad de los parámetros químicos, debido a que influye con las tasas de actividad química y biológica. Afecta la tasa de transferencia de oxígeno y por consiguiente el valor del oxígeno saturado, ya que al incrementar la temperatura la solubilidad del oxígeno disuelto disminuye. El aumento de la temperatura puede producir malos olores debido a un aumento en la transferencia de gases, aumentando así la reproducción de ciertas especies vegetales y animales, y acelerando los procesos metabólicos que pueden llegar a cambiar las especies de un río.
7. **Turbidez**; es un estimador de los sólidos en suspensión. Se aplica a aguas que contienen materia en suspensión tal que interfiere con el paso de la luz a través del agua. A mayor penetración de la luz solar en la columna de agua, menor será la cantidad de sólidos o partículas en suspensión y viceversa. Tiene una relación con el uso actual del suelo, tipos de suelos predominante, cobertura vegetal, entre otros.
8. **Sólidos disueltos totales**; es un indicador de las sales disueltas en una muestra de agua después de la remoción de sólidos suspendidos; se define como la cantidad de residuos remanentes después que la

evaporación del agua ocurre. Es común observarlos en terrenos agrícolas que han sufrido procesos fuertes de escorrentía.

9. **Oxígeno disuelto**; es uno de los parámetros más relevantes a la hora de evaluar la calidad del agua debido a que se asocia a la contaminación orgánica. Tiene una relación directa con las concentraciones de temperatura y salinidad debido a que aumenta su concentración al disminuir estos dos parámetros. Además posee una relación directa con la pendiente y la aireación del cauce. En condiciones aeróbicas se produce una mineralización que consume oxígeno y produce gas carbónico, nitrato y fosfato. Una vez consumido todo el oxígeno presente se inicia la descomposición anaeróbica que produce metano, amonio, sulfuro de hidrógeno, entre otros gases.

### **3.7 Medidas de mitigación**

Se llaman medidas de mitigación, al conjunto de actividades que se planifican para contrarrestar ó minimizar los impactos ambientales negativos, que se pudiesen establecer durante las intervenciones antropogénicas. Estas medidas deben estar conglomeradas en un plan de atenuación al sitio de emplazamiento, el cual debe formar parte del estudio de impacto ambiental (EIA).

El tiempo señalado para la validación de cualquier actividad, acción y/o ejecución convertida en un plan de desarrollo municipal o local (comunal), debe estar definida por periodos mínimos de 3 - 5 años; las cuales deben ser sistematizadas al cumplir su ciclo establecido, para luego con los éxitos y fracasos, poder ir direccionando y ajustando el programa y/o proyecto (Watler 2008).

## **IV. METODOLOGÍA**

### **4.1 Descripción del área de estudio**

La subcuenca del río Brakira, se localiza en el territorio de la comunidad indígena de Tuapí, del municipio de Puerto Cabezas, Región Autónoma Atlántico Norte (RAAN) de Nicaragua. Tiene una extensión aproximada de 14,38 km<sup>2</sup> (16,9 km de perímetro), pertenece a la cuenca del río Tuapí, en la vertiente del Caribe Norte Nicaragüense. Geográficamente se localiza entre las coordenadas 14°03'32" Latitud Norte y 83°20'20" Longitud Oeste, y 14°05'42" Latitud Norte y 83°23'40" Longitud Oeste.

### **4.2 Metodología del estudio**

La metodología desarrollada fue estructurada bajo cuatro etapas secuenciales y de orden cronológico: la primera, concierne a una etapa de tipo básico, donde se incluyó la revisión, clasificación y análisis de información secundaria, para dar origen a la formulación, presentación y defensa del anteproyecto de tesis o guía de investigación; la segunda etapa, consistió en la elaboración del plan de trabajo de campo por objetivos, con su cronograma ajustado a los meses de febrero, noviembre y mediado de diciembre del año 2008, igualmente circunscribió la preparación del presupuesto y cronograma de actividades de campo y post-campo, incluyendo el reconocimiento de la subcuenca en estudio; la tercera etapa, desarrollo el trabajo de campo, seguido del análisis y discusión de los resultados por objetivos específicos establecidos; finalmente la cuarta, y última etapa se basó en constituir medidas de mitigación a corto, mediano y largo plazo, tomando como referencia los resultados de los objetivos, todo con el propósito de contrarrestar los efectos negativos de la actividad de extracción de grava y arena sobre el agua superficial del río Brakira.

### **4.3 Tipo de estudio**

El trabajo investigativo fue asentada bajo una metodología de enfoque mixta (cuantitativa y cualitativa), debido a las siguientes características: 1) presenta una medición controlada, y una observación visual; 2) se limita a responder y a crear nuevas inquietudes o interpelaciones para

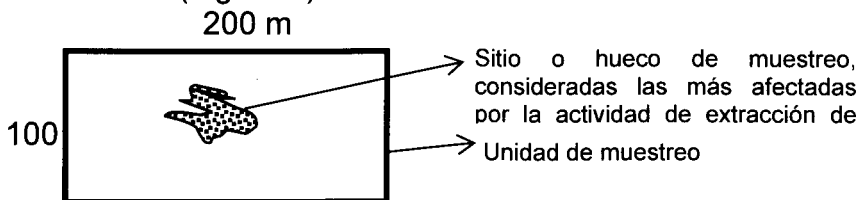
nuevas investigaciones (supuestos o hipótesis); y finalmente 3) porque a través del análisis de las metodologías desarrolladas trata no solo la realidad estática del efecto de la extracción actual de grava y arena sobre la calidad del agua del río Brakira, sino el análisis de la realidad dinámica bajo una indagación social, concretada en las medidas de mitigación establecidas para periodos de corto (5 años), mediano (10 años) y largo plazo (más de 15 años). Relacionado a la recolección de la información de campo, esta fue obtenida a partir de observaciones in situ, entrevistas formales e informales a autoridades comunales y líderes locales, (Anexo 1), y metodologías cuantitativas ya establecidas (parcelas de muestreo para determinar pérdida de suelo), y otros.

#### 4.4 Muestra

El universo de la muestra compete al espacio geográfico de la parte media y alta de la subcuenca; la muestra correspondió a cada hueco afectado por la actividad de extracción de grava y arena.

##### 4.4.1 Sitios o áreas de muestras

Los sitios o huecos de muestreos correspondieron a las áreas mayormente afectadas por la actividad de extracción de grava y arena; seleccionadas en la parte media y alta de la subcuenca. A estas áreas seleccionadas se muestreo una superficie de 200 x 100 m. Por las diferentes formas o irregulares que presentaban los sitios o huecos de muestreos (diferentes formas, tamaños y profundidades) se aplicó el método de la poligonización (Maluenda 1986); método que se ajustó perfectamente a las condiciones de los sitios o huecos. En seguida se ilustra la unidad o área de muestreo (200 x 100 m), establecida para cada sitio seleccionado (Figura 6).



*Figura 6. Esquema de las unidades o áreas de muestreo en la parte media y alta de la subcuenca del río Brakira*



La Figura 6 ilustra el esquema general de las áreas muestreadas (200 x 100 m), definidas en la parte media y alta subcuenca; partes que representan los sitios con las mayores afectación producto de la actividad de extracción. El número de unidades o áreas de muestreo, estuvo en dependencia de la cantidad de huecos seleccionados como representativos. En relación a las unidades o áreas muestreadas se exhibe claramente, que los mayores sitios escavados por la actividad de extracción se encuentran a distancias superiores de los 200 m de largo y 100 m ancho; no obstante, en algunos lugares se encontraron distancias inferiores a las mencionadas, que fueron consideradas como no representativas para la investigación. En Anexo 2, las fotos 4, 5 y 6 ilustran la aplicación del método de la poligonal en las unidades o áreas seleccionadas.

Referente al cálculo del volumen total extraído de grava y arena, para la parte media y alta de la subcuenca, esta correspondió a la sumatoria de cada volumen calculado en las unidades y áreas muestreadas.

#### **4.5 Caracterización de la subcuenca en los aspectos ecológicos**

Corresponde al primer objetivo de estudio:

**Objetivo específico 1.** Caracterización de la subcuenca en su aspecto ecológico, con énfasis en el recurso hídrico superficial.

En esta etapa se efectuaron las siguientes actividades: la primera actividad, concernió a la re-delimitación de la subcuenca, y la caracterización física; la segunda, correspondió a la revisión, clasificación y análisis de la información secundaria y primaria referida a sus aspectos ecológicos y biofísicos; la tercera, consistió en un recorrido por las áreas del bosque de pinos o de sabana y el bosque ribereño (Anexo 2, Fotos 1 y 3), con el propósito de observar y describir las especies de árboles, reptiles, aves y peces con mayor presencia; y la cuarta actividad, se asentó en el reconocimiento, clasificación y georeferenciación de los huecos de muestreo representativas por la extracción de grava y arena (Anexo 2, Foto 2), utilizando el sistema de posicionamiento global (GPS), y procesada su información con el programa ArcView 3.3.

### **4.5.1 Aspectos ecológicos**

La recopilación de la información en sus aspectos ecológico inicio con la revisión de informes, proyectos, monografías, y documentos relacionados con la subcuenca en estudio; posteriormente, esta información fue contrastada con las obtenidas en las visitas periódicas a las partes media y alta de la subcuenca. Se le suma la información de las entrevistas realizadas a las autoridades municipales, líderes, funcionarios de ENACAL y pobladores de la comunidad indígena de Tuapí; actividades que sirvieron de base para la descripción de las especies de flora, faunas (aves, reptiles), con mayor presencia en la subcuenca.

#### **4.5.1.1 Factores bióticos**

Los datos del factor biótico se obtuvo a partir de información primaria (averiguaciones de campo y avistamientos de especies, durante las caminatas o recorridos por la subcuenca).

#### **4.5.1.2 Factores abióticos**

Los datos del factor abiótico se adquirió a través de consultas a textos, documentos, informes, monográficas, tesis, y de la estación meteorológica del aeropuerto Rigoberto Cabezas de la ciudad de Bilwi, del municipio de Puerto Cabezas, concerniente al periodo 2008.

##### **4.5.1.2.1 Clima**

Los factores temperatura, presión atmosférica, velocidad del viento, precipitación, evaporación, humedad relativa se obtuvieron de la estación meteorológica del aeropuerto Rigoberto Cabezas en el barrio el aeropuerto de la ciudad de Bilwi, municipio de Puerto Cabezas, del periodo 2008.

##### **4.5.1.2.2 Suelo**

La información se obtuvo a través del levantamiento de una calicata en cada parte de la subcuenca (parte media y alta). Las dimensiones de cada calicata fueron de 2 m<sup>2</sup>, con una profundidad de 2 pies. Referente a la información topografía y de relieve (pendiente) se obtuvo del mapa de curvas a nivel con intervalos de 20 m, la cual dio origen al mapa de elevaciones, la cual fue procesada con el programa ArcView 3.3.

#### **4.5.1.2.3 Red de drenaje**

La red de drenaje del recurso hídrico se obtuvo en primera instancia por información primaria (georeferenciación de las corrientes del río o riachuelos, y las nacientes), posteriormente esta información fue rectificado con imágenes de satélite a escala 1:20000 (INAFOR 2007).

#### **4.6 Referenciación de los sitios o huecos afectada por la extracción de grava y arena**

Para la ejecución de esta actividad se utilizó el aparato GPS de marca Garmin, donde a cada sitio o hueco seleccionado se le procedió a obtener su posicionamiento global en el punto central, leyendo sus coordenadas geográficas (Latitud Norte y Longitud Oeste). Posteriormente los puntos georeferenciados fueron ubicados en la hoja cartográfica a escala 1:50000 del municipio de Puerto Cabezas, con el propósito de obtener un panorama espacial de su representación en la subcuenca, haciendo uso del programa ArcView 3.3.

#### **4.7 Estimación del volumen de material extraído de grava y arena, y su distribución espacial en la parte media y alta de la subcuenca**

Corresponde al segundo objetivo de estudio:

**Objetivo específico 2.** Estimación del volumen de material extraído de grava y arena, y su distribución especial en la parte media y alta de la subcuenca.

##### **4.7.1 Estimación de las áreas afectadas (m<sup>2</sup>)**

La recopilación de los datos de la superficie afectada por la extracción de grava y arena se realizó a través del método de la poligonización.

#### **4.7.1.1 Método de la poligonización**

Este método fue establecido por Maluenda (1986), a continuación se describe de forma resumida el procedimiento, llevado a cabo en campo:

1. *Delimitación de terreno*: inicialmente se identificaron los sitios o huecos representativos por la extracción de grava y arena, luego se procedió a ubicar las unidades o áreas de muestreo (200 x 100 m), las cuales no debían contener obstáculos, para facilitar el levantamiento de los datos y marcaje de la poligonal.
2. *Selección del punto de partida de la poligonal*: correspondió a cualquier punto o vértice de la unidad de muestreo, a partir del cual se delimitó la poligonal siguiendo la manecilla del reloj.
3. *Punto de Referencia*: fue el punto o vértice de mayor visibilidad en la unidad de muestreo; seleccionado para facilitar la mensura de la distancia y el cierre de la poligonal.
4. *Lectura del ángulo*: se obtuvo con la ayuda de una brújula, donde a partir de cada punto seleccionado se vió al punto siguiente, y se procede a leer el rumbo magnético en grados con respecto al Norte.
5. *Distancias*: las distancias fueron obtenidas por medio de una cinta métrica de 50 m, guiado con un jalón de madera. Las unidades de las lecturas fue el metro (Anexo 2, Fotos 4, 5 y 6).

#### **4.7.1.2 Elaboración de croquis o mapas**

Obtenida las mediciones en campo se procedió a su representación gráfica en un plano, para esto se eligió una escala de dibujo de 1:1600, permitiendo el trazado de cada una de las unidades o áreas de muestreo y ubicación de los sitios o huecos representativos.

#### **4.7.1.3 Cálculo de área por el método de la plantilla de puntos**

El área de la poligonal se determinó utilizando la red de puntos ó plantilla de puntos, con espaciamento entre 5 mm. La ecuación utilizada fue:

$$A = E^2 \times 0.000025 N$$

Donde:

A = área en m<sup>2</sup>.

E = escala del mapa o plano.

0.000025 = coeficiente de la formula por la separación de cada punto.

N = número de puntos dentro del área de interés.

El resultado del área total se obtuvo a través de la siguiente ecuación:

$$A_T = A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n$$

Donde:

A<sub>T</sub> = área total.

A<sub>1</sub> = área uno.

A<sub>2</sub> = área dos.

A<sub>3 ... n</sub> = área tres + ... + A<sub>n</sub>

#### **4.7.1.4 Volumen de grava y arena extraída**

Los volúmenes extraídos se consiguieron realizando la operación de multiplicación de la superficie de los huecos seleccionados en (m<sup>2</sup>) por la profundidad promedio del hueco (m). Utilizando la siguiente fórmula:

$$V = A \times h$$

Donde:

V = volumen subtotal de material extraída.

A = área del hueco seleccionado (m<sup>2</sup>).

h = profundidad promedio del área o hueco (m).

El volumen total de materia extraído de grava y arena se consiguió mediante la sumatoria de los volúmenes subtotales, matemáticamente se aplicó la siguiente ecuación:

$$A_T = A_1 + A_2 + A_3 \dots + / N$$

Donde:

$A_T$  = área total.

$A_1$  = área uno.

$A_2$  = área dos.

$A_3$  = área tres + ... +  $A_n$

$N$  = número de áreas seleccionadas.

#### 4.8 Cuantificación de la pérdida de suelo por la erosión hídrica en las áreas afectadas por la extracción de grava y arena

Corresponde al tercer objetivo de estudio:

**Objetivo específico 3.** Cuantificación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en las áreas de mayor afectación por la actividad de extracción de grava y arena (parte media y alta de la subcuenca).

##### 4.8.1 Cálculo de la pérdida de suelo en las áreas afectadas por la extracción de grava y arena

Para calcular la pérdida de suelo de la capa superficial en la subcuenca, se aplicó el método de clavos y arandelas Gleason (1957), citado por Morales (1999). En seguida se describen las actividades de campo:

- Inicialmente se seleccionaron las unidades o áreas representativas ó de muestreo, tanto para la parte media y alta de la subcuenca, como se menciono anteriormente concierne a las áreas de mayor afectación por la actividad de extracción de grava y arena.
- Posteriormente se delimitó la unidad de muestreo, que correspondió a 50 x 50 m, equivalente a una superficie de 2500 m<sup>2</sup>. A continuación se esquematiza la unidad de muestreo (Figura 7).

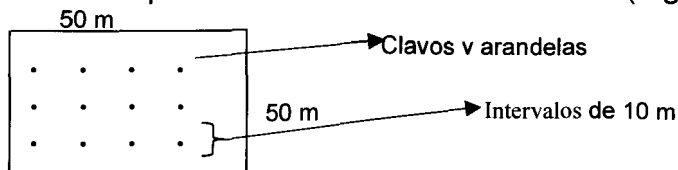


Figura 7. Unidad de muestro para determinar la pérdida de suelo

- Luego se introdujeron en el suelo los clavos de cinco pulgada con arandelas holgadas, las cuales fueron colocadas cuidadosamente a lo largo de un transepto a intervalos regulares de 10 m (Figura 7), procurando que la arandela descansase sobre la superficie del suelo.
- La toma de las lecturas se realizó cada tres meses, esto para un período de 12 meses, y consistió en obtener la información de la diferencia de nivel (altura) entre la superficie del suelo y la cabeza de los clavos y/o arandela. Esta lectura, correspondió a la cantidad de suelo desplazado; la unidad de medida fue el milímetro (mm).
- Una vez tomada la información se procedía a colocar los clavos nuevamente al nivel del suelo, para luego medirlo dentro de tres meses.
- Finalmente, para cuantificar la pérdida de suelo superficial por erosión hídrica, se procedió a sumar todas las lecturas obtenidas en el transcurso de un año, a través de la siguiente fórmula:

$$P = h \times A \times Da$$

Donde:

P = pérdida de suelo.

h = altura de la capa de suelo removida.

A = área del terreno (m<sup>2</sup>).

Da = densidad aparente (para el estudio la Da fue una constante).

#### **4.9 Determinación del caudal y calidad del agua superficial de la subcuenca del río Brakira**

Corresponde al cuarto objetivo de estudio:

**Objetivo específico 4.** Determinación del caudal y la calidad del agua superficial de la subcuenca del río Brakira.

##### **4.9.1 El caudal**

La recopilación de la información del caudal inicio con la selección del lugar de aforo basado en los siguientes requisitos; 1) el cauce debía de

tener una corrientes ó fluidez permanente, 2) no debía presentar obstáculo como ramas, acumulación de hojarasca, trozos ó fuste de árboles caídos, ni presentar alguna posibilidad de derrumbamiento. Con estas condiciones se procedió a seleccionar dos sitios de aforo; el primero, ubicado en la parte media de la subcuenca, su posición geográfica corresponde a 14°5'32,5" Latitud Norte y 83°22'30,1" Longitud Oeste; el segundo punto de aforo fue ubicado en la parte baja de la subcuenca, su posición geográfica es 14°6'2,7" Latitud Norte y 83°20'29,1" Longitud Oeste. Las mediciones fueron realizadas por un periodo de un año, considerando las estaciones de invierno y verano.

A continuación se detallan las actividades realizadas para el cálculo de la velocidad del agua superficial:

- En los sitios seleccionados se incrustaron estacas de madera en ambos vértice formando un cuadrado, consecutivamente se tensó dos hilos o cuerda de pescar aguas arriba y aguas abajo en ambos extremos del cauce. Posteriormente aguas arriba se colocó una persona con un hilo acordonado sobre el cauce y teniendo en su mano un cuerpo flotante (Anexo 2, Foto 7).
- Una segunda persona con un cronómetro en la mano se posesiono aguas abajo en el segundo hilo de la línea que cruza los extremos del cauce (Anexo 2, Foto 8).
- Seguidamente la primera persona ubicada aguas arriba libera el cuerpo flotante, para que este se desplace corriente agua abajo, cuidadosamente la segunda persona toma el tiempo de desplazamiento del cuerpo flotante, justo cuando se encuentra en la segunda línea del hilo; la unidad de medida fue en segundo.
- El procedimiento se realizó tres veces en cada sitio, y luego se procedió a determinar la velocidad promedio de la corriente de agua superficial del aforo, aplicando la siguiente formula.

$$V = d/t$$

Donde:

V = velocidad promedio de la corriente superficial (m/seg).



d = distancia entre el hilo (agua arriba) y el hilo dos (agua abajo) (m).

t = tiempo recorrido entre el hilo uno y el hilo dos (seg).

Una vez conocida el área de la sección transversal del canal y la velocidad promedio de la corriente del agua superficial se procedió a determinar el caudal a través de la siguiente formula.

$$C = A \times V$$

Donde:

C = caudal en m<sup>3</sup>/seg.

A = área conocida (m<sup>2</sup>).

V = velocidad promedio de la corriente de agua (m/seg).

#### **4.9.2 Calidad de agua**

Los indicadores de calidad del agua superficial (datos físicos, químicos y bacteriológicos), fueron recopilados de la base de datos de la Empresa Nacional de Acueducto y alcantarillado (ENACAL) ubicada en la ciudad de Bilwi, Puerto Cabezas, RAAN. Datos que corresponden al agua cruda del río Brakira, las cuales fueron comparadas y analizadas con los valores establecidas por la norma de la OPS/OMS y la norma CAPRE, establecidas para agua de consumo humano.

#### **4.10 Medidas de mitigación a corto, mediano y largo plazo, con fines de protección y/o conservación del recurso hídrico superficial**

Corresponde al quinto objetivo de estudio:

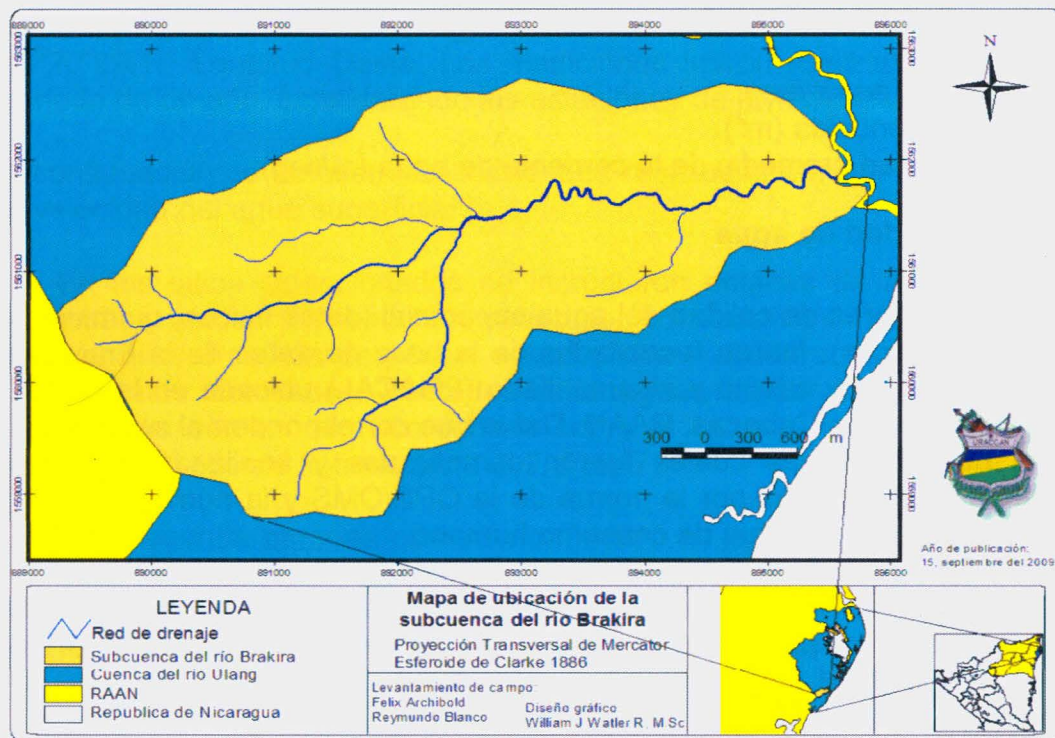
**Objetivo específico 5.** Establecimiento de medidas de mitigación a corto, mediano y largo plazo, con fines de protección y/o conservación del recurso hídrico.

Las medidas de mitigación establecidas corresponden básicamente a una descripción detalladas de acciones y/o actividades de carácter correctivo, para periodos establecidos de 5, 10 y 15 años respectivamente; emplazada para el mejoramiento de la calidad y cantidad del agua superficial del río Brakira (Watler 2008).

## V. RESULTADO Y DISCUSIÓN

### 5.1 Caracterización de la subcuenca del río Brakira en sus aspectos ecológico

#### 5.1.1 Ubicación de la subcuenca del río Brakira



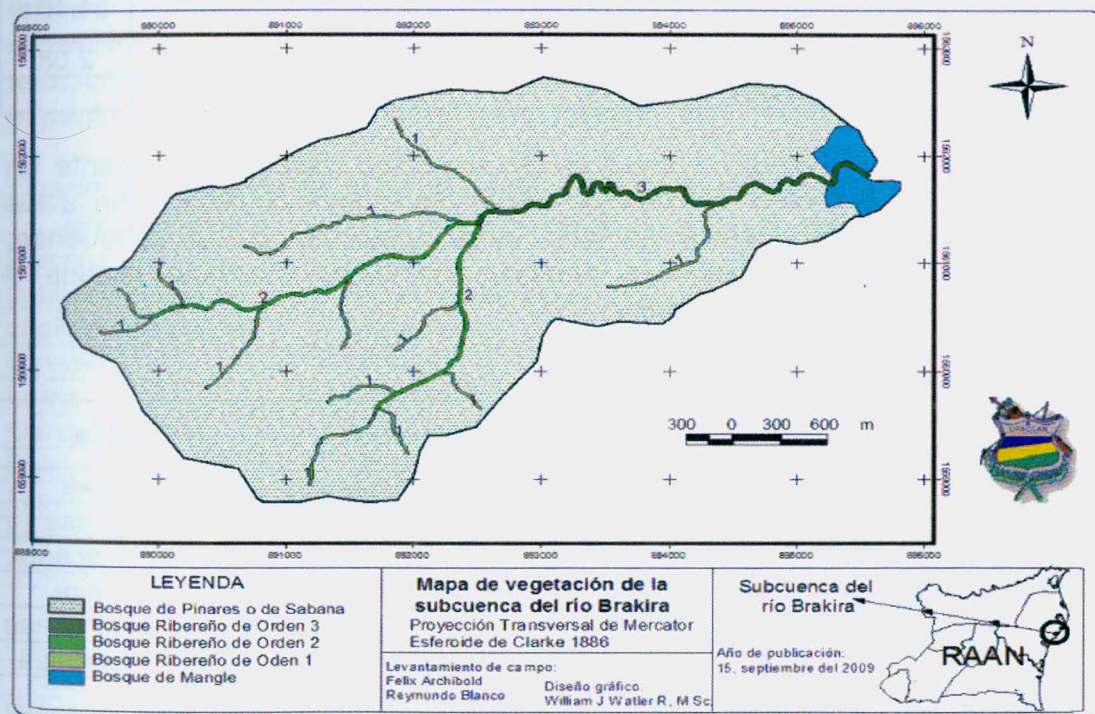
*Mapa 1. Macro localización de la subcuenca del río Brakira*

El Mapa 1 ilustra la macrolocalización de la subcuenca del río Brakira, localizada a 7 km de la ciudad de Bilwi. Esta limita al Norte con la cuenca de río Tuapí; al Sur con la ciudad de Bilwi, Puerto Cabezas, RAAN; al Este con el Océano Atlántico y al Oeste con la tierra comunal de Kamla. El acceso es por vía terrestre, por medio de la carretera principal que conduce de la ciudad de Bilwi, Puerto Cabezas.

## 5.1.2 Elementos de los factores bióticos

### 5.1.2.1 Flora

La subcuenca ostenta tres ecosistemas (bosques) bien definidos: el bosque de pinares o de sabana, representando el 94,16%; el bosque ribereño (3,75%); y el bosque de Mangle, con 2,08% del área total (Mapa 2).



Mapa 2. Ecosistemas de la subcuenca del río Brakira

Como se ilustra, la predominación es el bosque de pinares o de sabana (Mapa 2). En la actualidad la actividad de extracción de grava y arena, es la que mayormente está afectando al bosque de pinares, máximamente en la parte media y alta de la subcuenca. En los Cuadros 3 y 4 se exponen las extensiones de los ecosistemas o bosques, y las especies de flora observadas en la subcuenca.

**Cuadro 3. Ecosistemas de la subcuenca**

<b>Ecosistemas</b>	<b>ha</b>	<b>Perímetro (m)</b>	<b>Clasificación</b>	<b>%</b>
Bosque de pinares o de sabana	1354,37	17327,74	---	94,16
Bosque ribereño del Orden 1	22,04	22376,025	10 m para ambos lados	1,53
Bosque ribereño del Orden 2	15,29	10234,32	15 m para ambos lado	1,06
Bosque ribereño del Orden 3	16,75	8406,58	20 m para ambos lado	1,16
Bosque de mangle	29,92	2684,23	---	2,08
<b>Total</b>	<b>1438,37</b>			

En seguida el Cuadro 4 describe las especies observadas durante un periodo de 8 meses del periodo 2008, las cuales corresponden a las especies de abundancia en los tres ecosistemas de la subcuenca; asimismo se describen sus nombres comunes, nombres locales o miskito, científicos y de familia.

**Cuadro 4. Especies de flora en la subcuenca**

<b>Nombre común</b>	<b>Nombre Miskito</b>	<b>Nombre científico</b>	<b>Familia</b>
Pino caribe	Awas	<i>Pinus caribaea hondurensis</i>	Pinaceae
Chaparro	Yahal	<i>Curatella americana</i>	Dilleniaceae
Nancite	Krabu	<i>Byrsonima crassifolia</i>	Malpighiaceae
Palma ancha	Papta	<i>Aceloraphe wrigthii</i>	Aracaceae
Icaco	Tawa	<i>Crhysobalanus icaco</i> L.	Chrysobalanaceae
Mangle	Laulu	<i>Rhyzophora mangle</i>	Rhizophoraceae
Palo de agua	Yamari	<i>Vochysia hondurensis sprague</i>	Vochysiaceae
Santa maría	Krasa	<i>Calophyllum brasiliense</i>	Clusiaceae
Zopilote	Duhran	<i>Vochysia ferruginea</i>	Vochysiaceae
Escobillo	Brum dusa	<i>Myrciara floribunda</i>	Myrtaceae
Guabo	Bribrid	<i>Inga thiboudiana</i>	Leguminoceae
Guarumo	Plamh	<i>Cecropia ssp</i>	Cecropiaceae
Cordoncillo	Lula bakbak kia	<i>Piper adumcum</i>	Piperaceae
Chinche	Mustukra	<i>Pera arbórea</i> M	Eufhorbiaceae

De acuerdo a los Cuadros 3 y 4 la subcuenca presenta un potencial forestal de protección y/o conservación de la vida silvestre, debido a que toda actividad desarrollada dentro de la misma tiene un efecto negativo significativo en la vegetación natural y en el recurso hídrico superficial.

### 5.1.2.2 La fauna

De forma general se visualizaron pocas especies de fauna silvestre; entre las especies observadas sobresalen; las aves y especies de reptiles (Cuadro 5 y 6). Estas especies de aves y reptiles fueron observadas con mayor frecuencia a lo largo del bosque ribereño, en relación al bosque de pinos y de mangle. En seguida se describen los especímenes más comunes en la subcuenca.

*Cuadro 5. Especies de aves comunes en la subcuenca*

Nombre común	Nombre miskito	Nombre científico
Paloma	Butko	<i>Columba speciosa</i>
palomita colorada	Butko kalat lupia	<i>Columbina talpacoti</i>
zopilote cabecirojo	Kiarangu	<i>Cathartes aura</i>
Gavilán	Yakal	<i>Buteo magnirostris</i>
Loras	Rahwa	<i>Amazona farinosa</i>
Garzas blancas	Yami pihni	<i>Egretta albus</i>
Pelicano	Kaku	<i>Pelecanus occidentalis</i>
Garza del ganado	Bib yamika	<i>Bubulcus ibis</i>
Martín Pescador	Inska ayalkra	<i>Ceryle Torcuato</i>
Chocoyos	Risko	<i>Pianus sp.</i>

*Cuadro 6. Especies de reptiles comunes en el área de la subcuenca*

Nombre común	Nombre miskito	Nombre científico
Boa común	Maksixsa	<i>Boa constrictor</i>
Garrobos	Islo	<i>Ctenosaura similis</i>
Iguanas	Kakamuk	<i>Iguana rhinolopha</i>
Basilisco	Guipat	<i>Basiliscos vittatus</i>
Lagartija	Ricaya	<i>Ctenosauro quinquecorinata</i>

De acuerdo a la diversidad total de fauna, el área de la subcuenca puede ser caracterizada como de baja abundancia en especie y población. Se observó una mayor presencia en época de invierno, que en verano;

probablemente se deba a las mayores frecuencias de incendios en la sabana de pino. En cuanto a la vida acuática, esta es relativamente rica en la parte baja y se asocia a la influencia marítima; no obstante, dejamos entre dicho que para proporcionar una categorización de su abundancia (alta, media y baja), se requiere un estudio más detallado.

## **5.2 Elementos de los factores abióticos**

### **5.2.1 Clima**

El clima de la subcuenca es tipo tropical húmedo cálido, debido a la predominancia de lluvias durante casi todo el año. En seguida se puntualizan los factores abióticos más representativos al área de la subcuenca:

**Temperatura;** los registros de un año reflejan que la temperatura media anual concierne a 26,6 °C; siendo los meses de febrero y mediado de mayo los que presentan las máximas temperaturas, promediando 28,7 °C; y los meses de noviembre y parte de enero, con los promedios menores de temperaturas (25 °C).

**Humedad relativa;** es constante en casi todo el año, su media anual varía entre 80 - 85%. Las variaciones más importantes ocurren en la época de verano y se incrementa substancialmente durante la época del invierno.

**Vientos;** en el área de la subcuenca del río Brakira predominan vientos con dirección Este, con una velocidad promedio anual de 8,4 m/seg. Las menores velocidades se manifiestan en el mes de septiembre con 2,6 m/seg, y las máximas en el mes de noviembre con 56,1 m/seg.

**Precipitaciones;** las precipitaciones se registran durante casi todo el año, siendo marzo y abril los meses con las menores precipitaciones (aproximadamente 180 mm), y el periodo con las mayores precipitaciones se registran en los meses de junio – octubre, con más de 300 mm; periodo que marca el 80% del total de lluvia anual. Normalmente la precipitación media anual de la subcuenca es de 2887 mm.

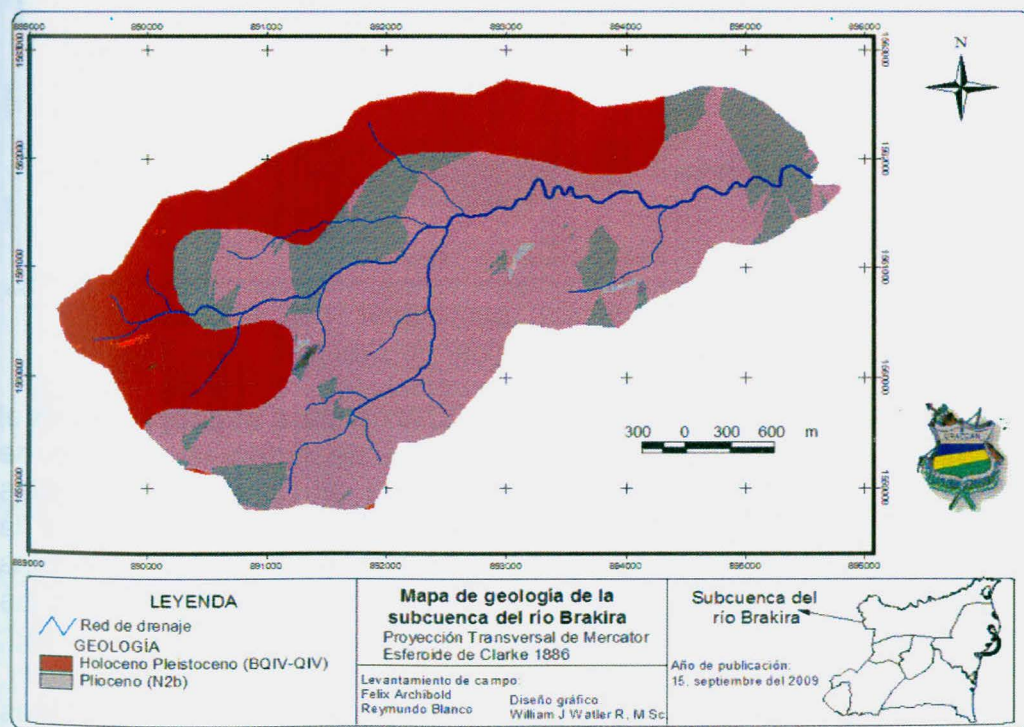


**Evaporación;** la evaporación promedio anual es de 1819,4 mm; desplegándose las máximas evaporaciones en los meses de marzo y abril, con 250,2 mm, y la mínima en el mes de mayo con 47,6 mm.

Estas condiciones climáticas permiten ubicar a la subcuenca dentro de una zona de vida de bosque perennifolio moderadamente cálida, con precipitaciones abundantes durante casi todo el año, debido en parte a la influencia atmosférica y a las variaciones de la velocidad del viento.

### 5.3 Geología

La subcuenca se ubica en la planicie de la provincia geológica de los llanos de la Costa Caribe Nicaragüense; modelada por paisajes característicos de los efectos de la erosión y sedimentación de suelos de origen aluvional a través de diferentes épocas geológicas (Hodson1983). A continuación se muestra la distribución geológica (Mapa 3).

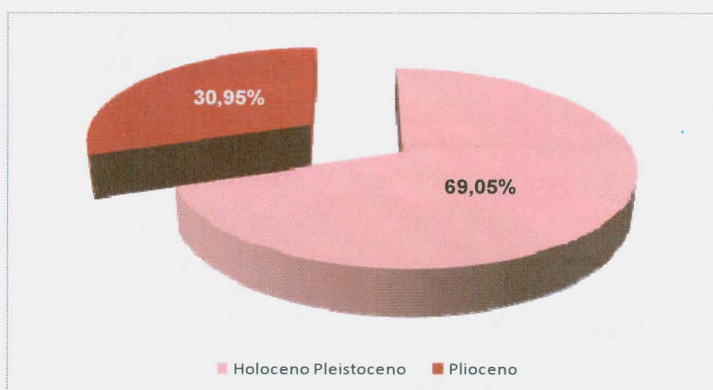


Mapa 3. Mapa de geología de la subcuenca del río Brakira

*Cuadro 7. Formación geológica de la subcuenca del río Brakira*

Periodo geológico	Formación	ha	Perímetro (m <sup>2</sup> )
Holoceno pleistoceno	---	993,22	18532,85
Plioceno	Bragman bluff	445,15	16821,13

En el Cuadro 7 se describen los tipo de periodos geológicos basados en dos grupos de base: el primer grupo de base corresponde a BQIV-QIV, relacionado al periodo Holoceno Pleistoceno Medio, que presenta una extension de 993,22 ha; el segundo grupo concierne a N2b del periodo Plioceno, con una superficie de 445,15 ha. En la Figura 8 se muestra la distribución porcentual del periodo geológico de la subcuenca.



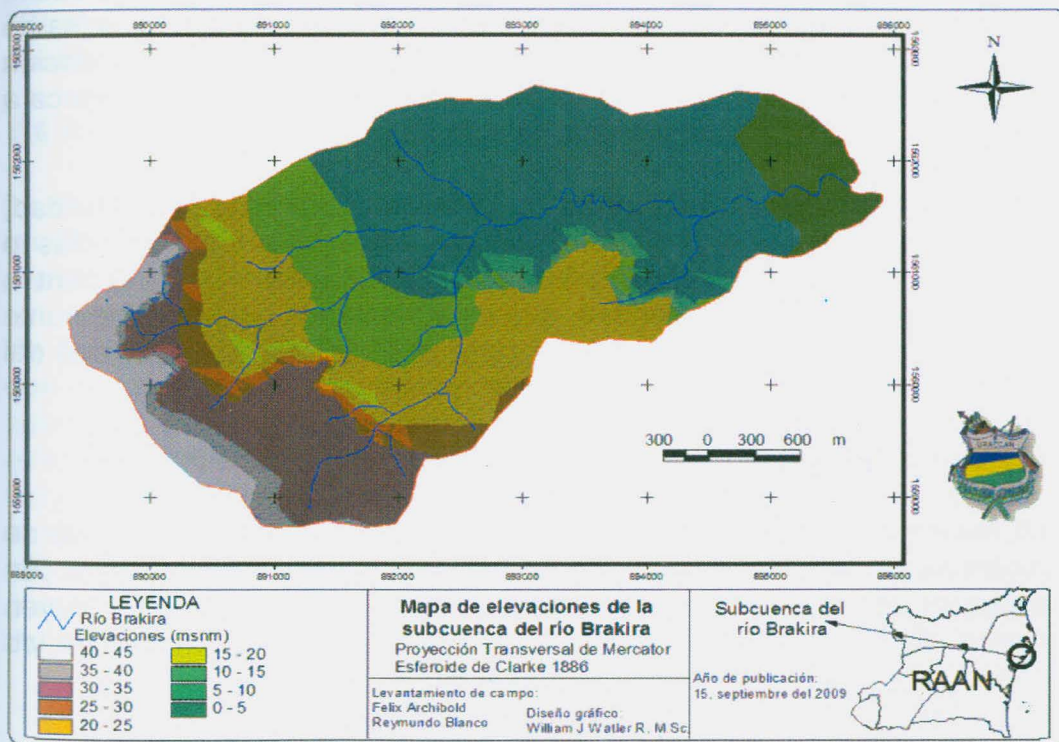
*Figura 8. Distribución porcentual del periodo geológico de la subcuenca del río Brakira*

De acuerdo al estudio realizado por FADCANIC para el año 1999, en el área de la subcuenca se identificó el siguiente orden taxonómico de suelo (Ultisols). Orden que refleja su origen aluvional de materiales recientes no consolidados (arcillas, arena y gravas), derivado de la meteorización y erosión de las sierras septentrionales, y de las serranías volcánicas antiguas. Además, estas características minerales definen las particularidades actuales de los suelos, tales como; baja fertilidad, textura arcillo-arenoso y arenosa en el sub-suelo, sin estructura definida, pH ácido, suelos ricos en sílice y aluminio, y pocas reservas de bases cambiables.



### 5.3.1 Elevaciones de la subcuenca del río Brakira

La superficie de la subcuenca presenta diferentes niveles de elevaciones con respecto al nivel del mar. Inicia desde los 0 msnm en la parte baja o desembocadura, hasta un máximo de 45 msnm en la parte más alta, donde habitualmente se encuentran las nacientes o ojos de agua del río Brakira. En seguida se presentan los rangos de elevaciones predominantes en la subcuenca del río Brakira (Mapa 4).



Mapa 4. Rango de elevaciones de la subcuenca del río Brakira

Morfológicamente estas elevaciones generan una planicie aluvial de grava y arena. Basado en estas características las aguas escurren libremente en dirección Oeste – Este, ocasionando pocas inundaciones en periodos de un invierno extenso.

### 5.4 Suelo

La descripción del suelo por medio de calicatas confirmo el orden taxonómico (Ultisols), como fue definido por FADCANIC en el año 1999. Entre las principales características físicas y químicas se distinguen; una pendiente plana a casi plana (2 - 6%), una erosión laminar que va de ligera a fuerte, una capa de suelo con carencia de materia orgánica, en algunos sitios apenas alcanza 0,23 cm de profundidad, predomina una textura de arcillo-arenoso a arenosos en todo el perfil, no presentan adhesión, ni una estructura definida. Las áreas son ligeramente pedregosas y con mucha presencia de grava en todo el perfil de suelo, su nivel de fertilidad varía de nula a muy baja, presenta altos niveles de toxicidad y salinidad, un drenaje interno rápido, riesgo de inundación leve, y considerables huecos en la parte media y baja de la subcuenca a causa de la extracción de material selecto de grava y arena.

Estas características mencionadas proporcionan una nula productividad, es decir, sin ninguna posibilidad de efectuar actividades agrícolas o pecuarias. No obstante, constituye una fuente de material selecto para la construcción local; particularidad, que está afectando considerablemente el paisaje natural de la subcuenca, y por ende la calidad y cantidad del agua superficial.

## **5.5 Uso potencial**

La mayor parte del área de la subcuenca, está cubierta de bosque de pinares o de sabana, seguido de un bosque ribereño generalmente con especies de hojas ancha (Ver Mapa 2). Estos ecosistemas constituyen suelos de baja fertilidad, con un potencial biofísico de protección y/o conservación de la vida silvestre (flora y fauna).

Entre los usos potenciales identificados se mencionan:

- El manejo natural o de regeneración del bosque de pinares o de sabana, para un área de 1354,37 ha.
- Conservación y/o protección del bosque ribereño, constituido por árboles leñosos y arbustos de especies latifoliadas de hojas ancha.

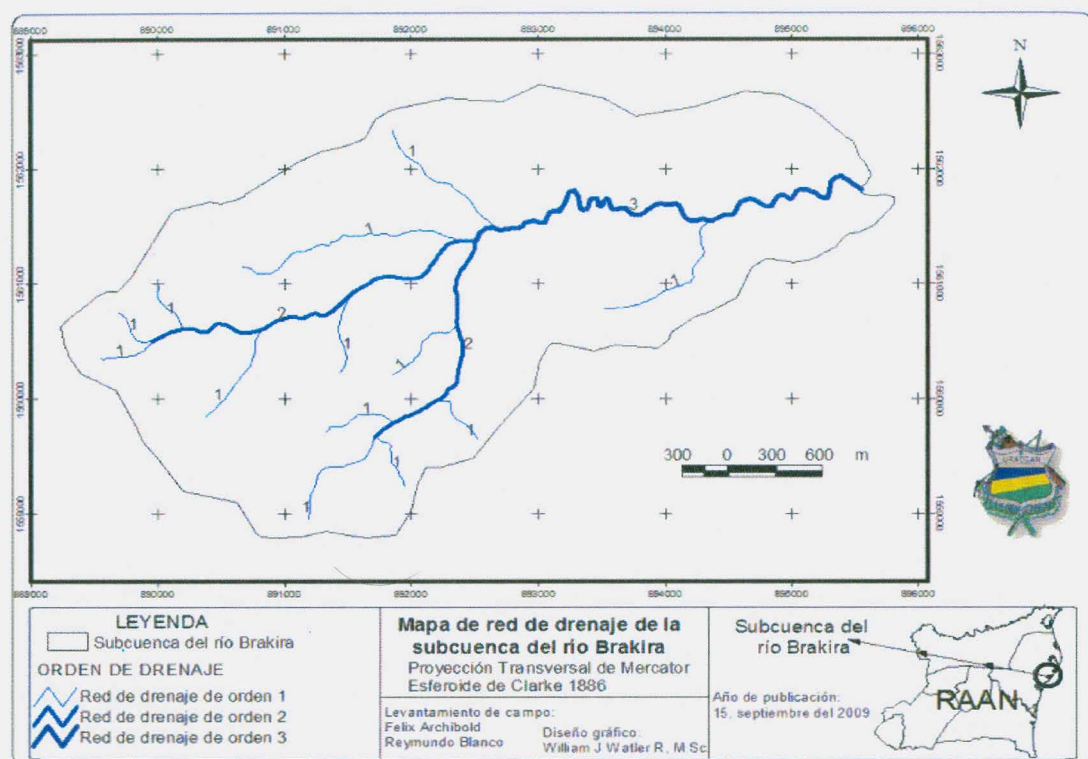
- Un potencial hídrico, con capacidad para abastecer de agua potable a la ciudad de Bilwi.
- Recreación, belleza escénica, y posible refugio de peces, por su influencia marítima.

El uso actual de la tierra, no está de acorde a su potencial biofísico (potencial forestal de conservación de la vida silvestre, protección hídrica y de recreación), debido a que causa un conflicto de sobre uso de suelo. Esta categoría de sobre uso de suelo, probablemente se deba al desinterés de los comunitarios de Tuapí, por este territorio.

## **5.6 Red de drenaje**

La subcuenca expone 3 órdenes de drenaje, las cuales están divididas en 16 afluentes de corrientes perennes e intermitentes; estas corrientes presentan una densidad de drenaje de 1,6 km (Mapa 5).

De acuerdo a Watler (2008), la densidad de drenaje es un parámetro que indica la posible naturaleza de los suelos que se encuentran en una cuenca, y da una idea sobre el grado de la cobertura de vegetación existente; generalmente cuanto mayor sea la densidad de drenaje, mayor será la respuesta de la cuenca frente a una tormenta, evacuando el agua en menor tiempo de escurrimiento. A continuación se muestra la red de drenaje y sus tributarios (Mapa 5), seguidamente el orden de las corrientes, longitud y número de afluentes (Cuadro 8) de la subcuenca del río Brakira.



Mapa 5. Red de drenaje y tributarios de la subcuenca del río Brakira

Cuadro 8. Orden de las corrientes, longitud y número de afluentes

Nombres	Long. (m)	No. de afluentes
Longitud de las corrientes de Orden 1	10865,507	13
Longitud de las corrientes de Orden 2	5078,26	2
Longitud de las corrientes de Orden 3	4172,06	1
<b>Total</b>	<b>20115,827</b>	

Los afluentes de la subcuenca (Mapa 5), drenan en dirección Oeste – Este, desembocando al río de Tuapí y este, al Mar Caribe. Los tres órdenes de corrientes, abarcan una longitud aproximada de 20,12 km.



### 5.6.1 Perfil longitudinal de la subcuenca del río Brakira

La longitud del cauce principal es de 7,6 km aproximadamente, con una pendiente media de 3,08%. Exhibe elevaciones máximas de 45 y mínimas de 0 msnm, lo que pone de manifiesto un relieve de planicie que varía de plano a casi plano (2 - 6% de pendiente) (Figura 9).

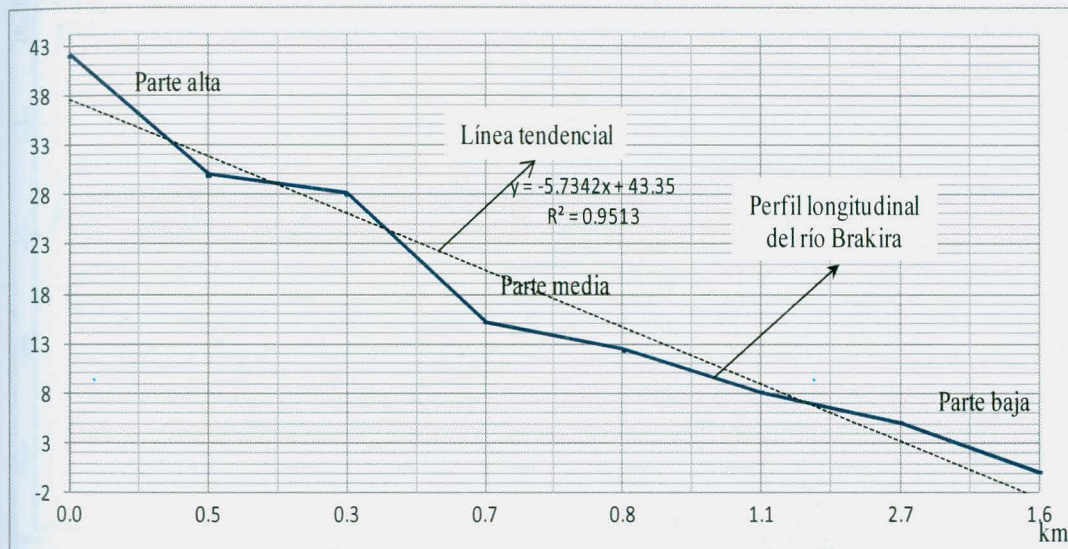
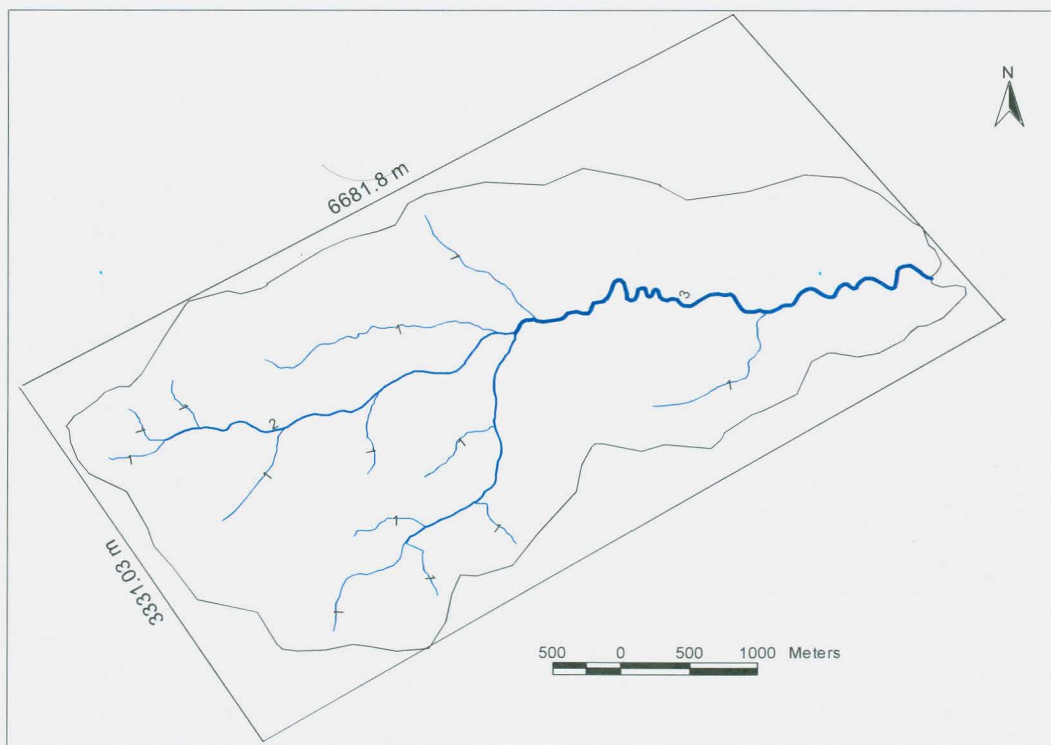


Figura 9. Perfil longitudinal de la subcuenca del río Brakira  
Elaborado por: William J Watler R, M.Sc.

### 5.6.2 Parámetro de forma y escurrimiento superficial

El parámetro de forma determinado a través del cálculo del índice de Gravelius ( $C_g = 0,28 (P/\sqrt{A})$ ), donde:  $C_g$  = índice de Gravelius,  $P$  = perímetro de la subcuenca en km, y  $A$  = superficie de la subcuenca, en  $\text{km}^2$ ; corresponde a  $C_g = 1,28$ . El valor estimado revela que la subcuenca presenta una forma oblonga, que hace que el agua discorra por un solo cauce principal, por lo que la duración del escurrimiento superficial que se genera se concentra más lentamente, reduciendo las posibilidades de una inundación durante un aguacero.

De acuerdo a Watler (2008), el índice de compacidad o de Gravelius trata de expresar la influencia del perímetro y el área de la cuenca o subcuenca en relación a la escorrentía superficial del río, particularmente en las características del hidrógrama. Para este caso  $C_g = K$  es  $> 1$ , indicando que la forma alargada de la subcuenca reduce los riesgos de que sean cubiertas en su totalidad por una tormenta, lo que puede afectar el tipo de respuestas que se presenta en el río. El mapa 6 muestra las dimensiones de cálculo del parámetro de forma para la subcuenca del río Brakira.



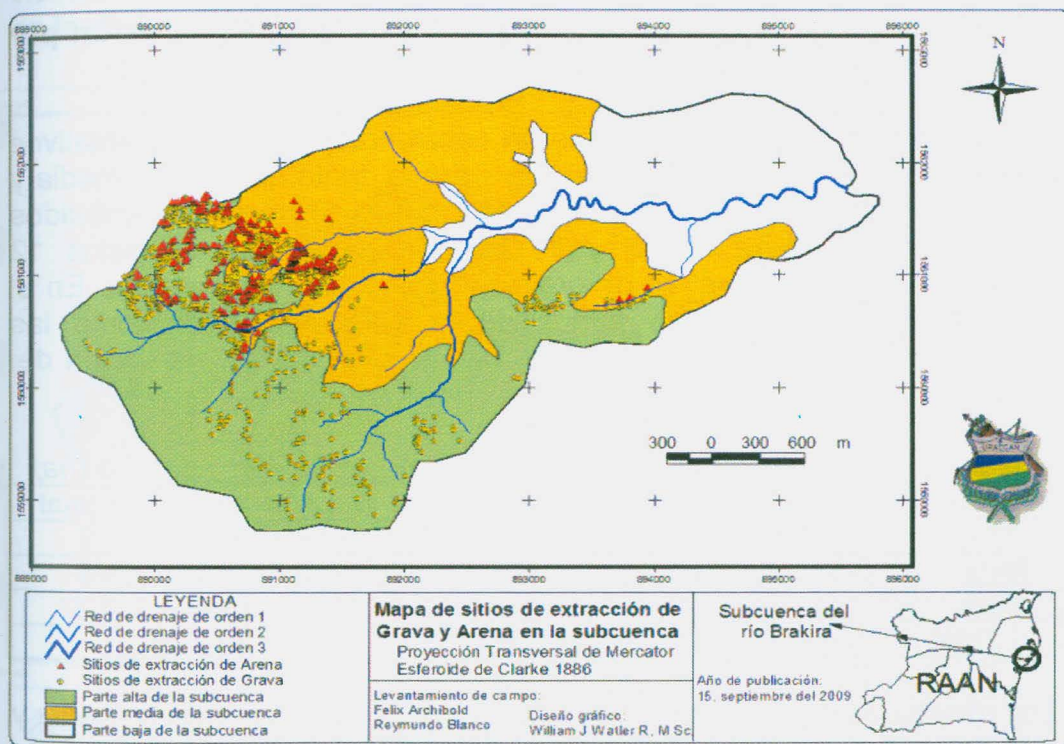
*Mapa 6. Parámetro de forma de la subcuenca del río Brakira*

## 5.7 Estimación del volumen extraído de grava y arena de la parte media y alta de la subcuenca del río Brakira



### 5.7.1 Georeferenciación de los sitios de extracción de grava y arena

El Mapa 6 muestra los sitios producto de la actividad de extracción de material selecto de grava y arena, correspondiente a la parte media y alta de la subcuenca.



*Mapa 7. Sitios afectados por la extracción de grava y arena en la parte media y alta de la subcuenca del río Brakira*

El total de sitios referenciados fue de 933; de estos 652 corresponden a grava, y el restante 281 a sitios de arena. En la parte media se identificaron 329 sitios de extracción de grava y arena, distribuido de la siguiente manera; 187 sitios de extracción de grava, y 142 de arena. Para la parte alta se identificaron 604, representando el 64,7% de los sitios totales de extracción, donde 465 corresponde a sitios de extracción de grava y 139 a sitios de arena.

En la subcuenca la extracción de grava y arena se realiza sin ningún control, por parte de las autoridades comunales, municipales y regionales. Lo preocupante de dicha actividad es que la demanda local del material va en aumento, pudiéndose observar un incremento significativo en el número de camiones y viajes por día.

### **5.8 Selección de las áreas de muestreo o de mayor afectación por la actividad de extracción de grava y arena**

Los huecos de tamaño medio fueron considerados los representativos de la actividad de extracción de grava y arena, tanto de la parte media y alta de la subcuenca. En total se seleccionaron 48 huecos, distribuidos en 24 para la parte media y 24 para la parte alta, de estos 12 correspondieron a muestras de grava y 12 a muestras de arena. En el Cuadro 9 se señalan las partes de la subcuenca, así como las superficies afectadas y no afectadas (sin afectar) por la extracción del material selecto (grava y arena).

*Cuadro 9. Áreas afectadas por la extracción de materiales selectos (ha)*

<b>Partes</b>	<b>Grava</b>	<b>Arena</b>	<b>Área afectada</b>	<b>Sin afectar</b>	<b>Sub-total</b>
Alta	7,38	1,49	8,87	613,13	622
Media	3,58	0,71	4,29	410,71	415
Baja	---	---	---	401,37	401,37
<b>Total</b>	<b>10,96</b>	<b>2,21</b>	<b>13,16</b>	<b>1425,21</b>	

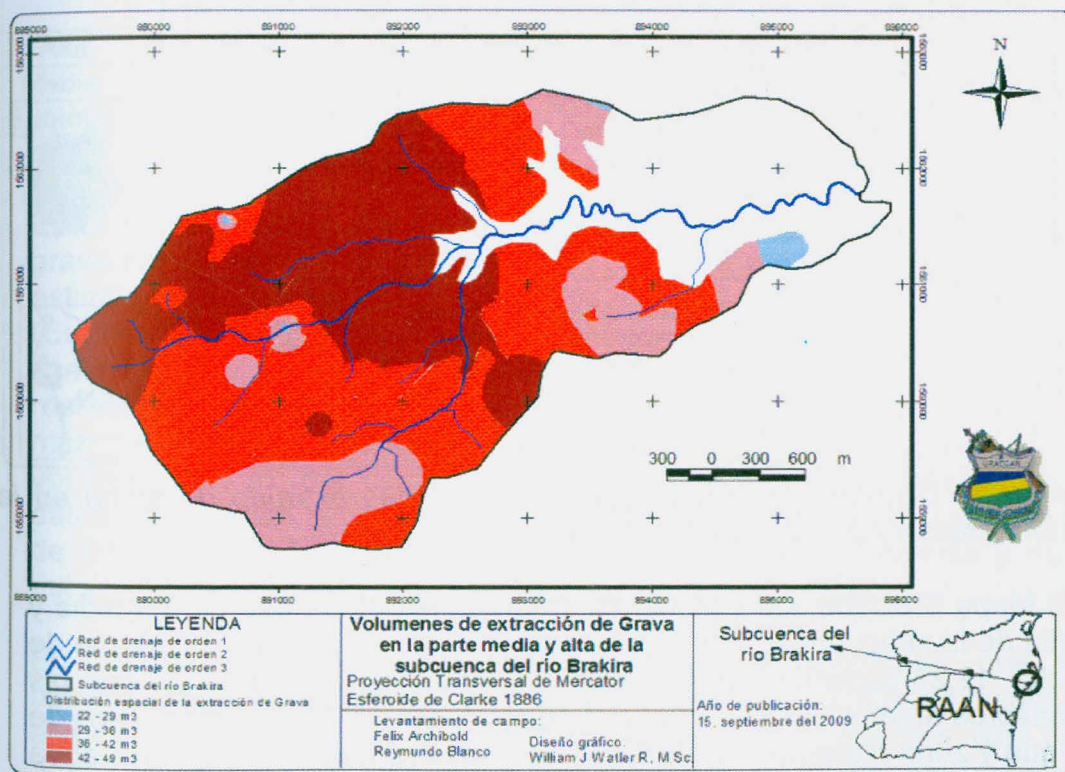
Los resultados exponen que el área perturbada tanto de la parte media y alta de la subcuenca es de 13,16 ha (1,27% del área total de la parte media y alta), de las cuales 4,29 ha, concierne a la parte media y 8,87 ha a la parte alta (Cuadro 9). No fue considerada la parte baja por el simple hecho de no encontrarse sitio o hueco alguno de extracción.

Esta superficie estimada (13,16 ha), ha tenido cambios significativo en el paisaje de la subcuenca, ya que vislumbra considerables agujeros en la superficie del suelo y una destrucción del bosque de pinos producto de la actividad de extracción. Además, está repercutiendo negativamente en el bosque ribereño, en la calidad y cantidad del agua superficial, en las nacientes y ojos de agua que fluyen hacia el cauce principal, y en la especies de aves y reptiles.

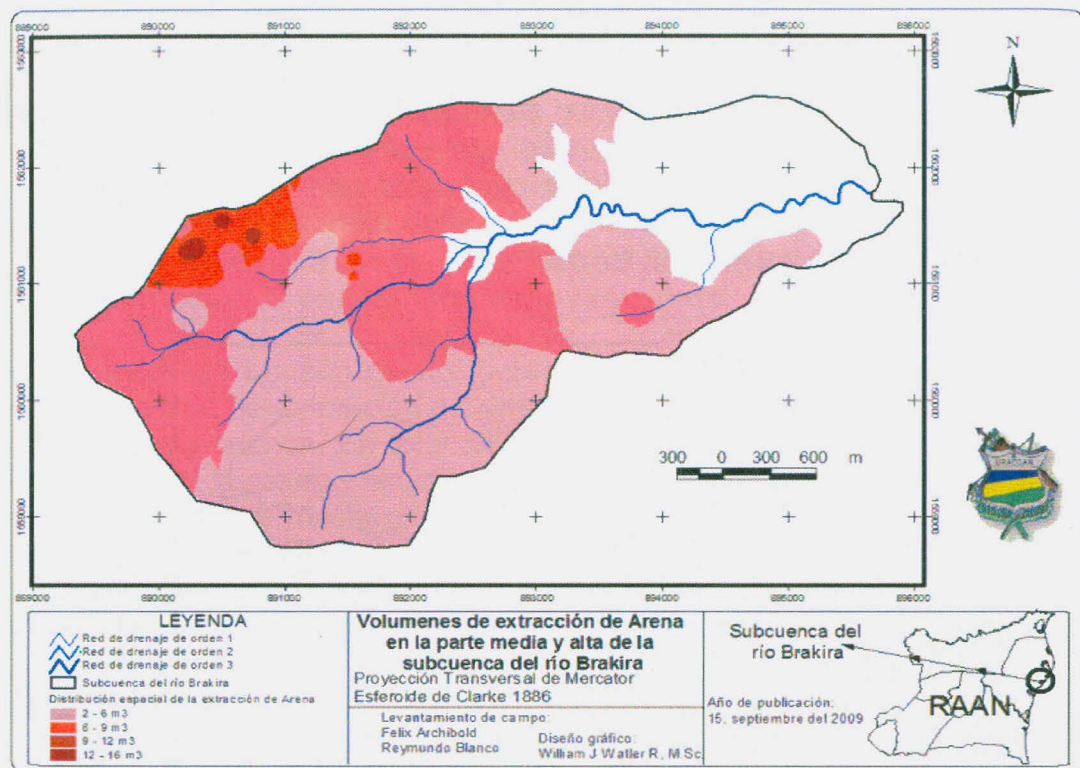


## 5.9 Volumen extraído de material selecto (grava y arena)

De acuerdo a los resultados de las entrevistas, en los últimos 4 años las actividades de extracciones, no solo han aumentado, si no que se ha concentrado en la parte alta de la subcuenca. En los Mapa 8 y 9 se visualiza la distribución espacial del volumen extraído de grava y arena en la parte media y alta de la subcuenca.



Mapa 8. Distribución espacial de los volúmenes extraído de grava en la parte media y alta de la subcuenca del río Brakira



*Mapa 9. Distribución espacial de los volúmenes extraído de arena en la parte media y alta de la subcuenca del río Brakira*

El Mapa 8 exhibe, los volúmenes de grava extraída en la parte media y alta de la subcuenca, que varían entre 22 – 49 m<sup>3</sup>; aproximadamente de 6,5 - 12,25 camionadas. Al mismo tiempo, pone de manifiesto que las mayores afectaciones se localizan en las áreas de las nacientes, ojos de agua y zona ribereña, poniendo en peligro la calidad y cantidad del agua superficial del río Brakira y su fauna existente.

Para el caso del volumen extraído de arena su distribución espacial muestra rangos relativamente bajos en las zonas de las nacientes, ojos de agua y zona ribereña, en relación a los volúmenes extraídos de grava. Los volúmenes de arena corresponden a valores menores de 16 m<sup>3</sup> (aproximadamente 4 camionadas), manifestándose extracciones inferiores a 6 m<sup>3</sup> (1,5 camionadas) en la dirección Sur-Oeste de la parte media y alta de la subcuenca (Mapa 9).



En el Cuadro 10 se detalla el cálculo del volumen extraído en relación a la profundidad y área afectada.

*Cuadro 10. Volumen de grava y arena extraídas en la subcuenca*

Partes	Área afectada en, m <sup>2</sup> de Grava	Prof. Prom. en, m	Volumen en m <sup>3</sup> , de grava	Área afectada en, m <sup>2</sup> Arena	Prof. Prom. en, m	Volumen en m <sup>3</sup> , de Arena	Sub-total
Alta	73810,66	0,19	14024,02	14928	0,24	3582,72	17606,74
Media	35759,16	0,21	7509,42	7136,6	0,15	1070,49	8579,91
Subtotal			21533,44			4653,21	
<b>Total</b>							<b>26186,65</b>

En la parte media y alta de la subcuenca los volúmenes extraídos de grava conciernen a 21533,44 m<sup>3</sup>, y los de arena a 4653,21 m<sup>3</sup>, con una estimación de volumen total extraído de material selecto de 26186,65 m<sup>3</sup> (Cuadro 10). Con el propósito de conocer las cantidades de viajes o camionadas y tener un estimado global del valor económico, que representa el volumen total extraído se consultó a seis transportistas con más tiempo en la actividad; los resultados obtenidos promedian un volumen de 4 m<sup>3</sup> por camión con un costo de 1450 córdobas/camión, datos que estiman la cantidad de 6546,7 viajes para un valor económico de 9492660,63 córdobas (nueve millones cuatrocientos noventa y dos mil seiscientos sesenta con sesenta y tres córdobas netos).

En conclusión se podría afirmar sin temor a equivocarnos, que la actividad extracción está deteriorando significativamente la parte media y alta de la subcuenca, especialmente las zonas de las nacientes, ojos de agua y zona ribereña. Resultados que deberían constituirse en una voz de alarma, para las instituciones y/o gobiernos que tienen injerencia de por ley en el medio ambiente y social de las comunidades indígenas de la región norte del Caribe Nicaragüense.

#### **5.10 Pérdida de suelo por erosión hídrica en las áreas de mayor extracción de grava y arena (parte media y alta)**

Los datos recopilados de la pérdida de suelo por erosión hídrica a través del método de clavo y arandela, correspondió a cuatro trimestres del año 2008; para el primer trimestre se abarcó los meses de enero, febrero y marzo; el segundo los meses de abril, mayo y junio; el tercer trimestre los meses de julio, agosto y septiembre; finalmente el cuarto y último trimestre incumbió los meses de octubre, noviembre y diciembre. En el Cuadro 11 se muestra una comparación del nivel de erosión establecida por INTA, con la erosión estimada por el método de clavo y arandela.

*Cuadro 11. Comparación de pérdida de suelo con la norma INTA*

Clases de pérdida de suelo	Nivel de erosión (INTA)	Zonas de la subcuenca del río Brakira	
		Alta	Media
Extremadamente Alta	>1400 ton/ha/año; >10 cm		
Muy Alta	900-1000 ton/ha/año; 6,4-10 cm		
Alta	400-900 ton/ha/año; 2,9-6,4 cm		
Moderadamente Alta	100-400 ton/ha/año; 0,7-2,9 cm	360 ton/ha/año; 1,5 cm	264 ton/ha/año; 1,1 cm
Moderada	40-100 ton/ha/año; 0,3-0,7 cm		
Bajo	< 40 ton/ha/año; < 0,3 cm		

La relación del nivel de erosión de la norma INTA versus los cálculos estimados tanto en la parte media y alta, lo ubican en la clase de pérdida de suelo de moderadamente alta (Cuadro 11). Asimismo se estimo, que los valores porcentuales de pérdida de suelo por erosión hídrica para la parte media corresponden a un 42,3%, y para la parte alta un 57,69%.

En la parte media y alta de la subcuenca existe una erosión hídrica laminar a ser considerada (moderadamente alta), y se debe en primera instancia a la actividad de extracción de material selecto, seguido de la pérdida de la vegetación natural (bosque), y de las condiciones y/o características del suelo y del clima. Aunque en el estudio, no se separó el nivel de pérdida de suelo por época, es razonable considerar que la época de lluvia la erosión tiende a intensificarse, y en caso de constituirse algún programa de conservación de suelo y agua se deberá tener muy en cuenta dicha época, para su planificación.

### 5.10.1 Niveles de pérdida de suelo

De acuerdo a los resultados obtenidos, los niveles de pérdida de suelo por erosión hídrica ubican la zona de la parte alta de la subcuenca en un nivel de erosión moderada (15 mm/año de suelo perdido), y la parte media en un nivel de erosión de leve a ligera (11 mm/año) (Cuadro 12). Las diferencias de los niveles de pérdida de suelo en la parte alta, con relación a la parte media se deben a dos condiciones; la ausencia de la vegetación, y las pendientes predominantes (mayores de 12%).

*Cuadro 12. Niveles de pérdida de suelo por erosión hídrica*

Zonas de la Subcuenca	Nivel de Erosión		
	Leve o ligero	Moderado	Severa
Alta		15 mm/año	
Media	11 mm/año		

El tipo de erosión predominante en la parte media y alta de la subcuenca corresponde a la erosión hídrica laminar, y se sustenta en que para la época lluviosa se remueven grandes cantidades de suelo producto de las escorrentías superficiales, las cuales fluyen hacia las orillas del cauce principal del río Brakira. En los sitios de extracción de arena se observó, una mayor afectación de pérdida de suelo por la acción de la erosión hídrica, en comparación con los sitios de extracción de gravas.

Como consecuencia de la actividad de extracción de grava y arena se manifiesta un deterioro generalizado en el paisaje de la subcuenca, específicamente en el recurso suelo y agua. Para contrarrestar estos efectos negativos, será necesario que las instituciones encargadas de la protección y/o conservación del ambiente tomen parte activa en la aplicación de las leyes ambientales, y medidas urgentes de manejo sostenible para periodos de corto, mediano y largo plazo, todo con el propósito de recuperar el recurso natural de la subcuenca. De no tomarse medidas correctivas, la probabilidad de sufrir una escasez de agua para consumo humano a los pobladores de la ciudad de Bilwi será inminente en un futuro no muy lejano.

### **5.10.2 Pérdida de suelo en las diferentes partes de la subcuenca del río Brakira**

*Cuadro 13. Pérdida de suelo en las partes media y alta de la subcuenca, según (Cubero 1996)*

<b>Nivel de erosión</b>	<b>Pérdida de suelo (ton/ha/año)</b>	<b>Zonas de la subcuenca del río Brakira</b>	
		<b>Alta</b>	<b>Media</b>
Nula o ligera	0 - 10		
Moderada	10 - 50		
Severa	50 - 200		
Muy severa	>200	360 ton/ha/año	264 ton/ha/año

Los resultados de pérdida de suelo por erosión hídrica, para la parte alta fueron estimados en 360 ton/ha/año, y para la parte media en 264 ton/ha/año, en ambos caso el nivel de erosión correspondió a muy severa (Cubero 1996). Esta pérdida de suelo es producto de la deforestación que se perpetra por la actividad de extracción del material selecto utilizada para la construcción. En relación a la parte baja no se cuantificó la pérdida de suelo por erosión hídrica, puesto que no se encontró evidencia alguna de la actividad de extracción de grava y arena.

### **5.11 Determinación del caudal y calidad del agua superficial del río Brakira**

#### **5.11.1 Velocidad promedio del agua superficial del río Brakira en periodo de verano e invierno**

En la parte media de la subcuenca la velocidad promedio de la corriente de agua superficial para el periodo de verano fue estimada en 0,116 m/seg, y para la parte baja en 0,053 m/seg, con una distancia recorrida para la parte media de 2,10 m y para la parte baja de 5 m. De la misma manera se procedió a calcular la velocidad promedio para el periodo de invierno, obteniéndose los siguientes resultados; para la parte media fue de 0,175 m/seg, y para la parte baja de 0,11 m/seg (Cuadro 14).



**Cuadro 14. Velocidad promedio del agua superficial en verano e invierno de la subcuenca del río Brakira**

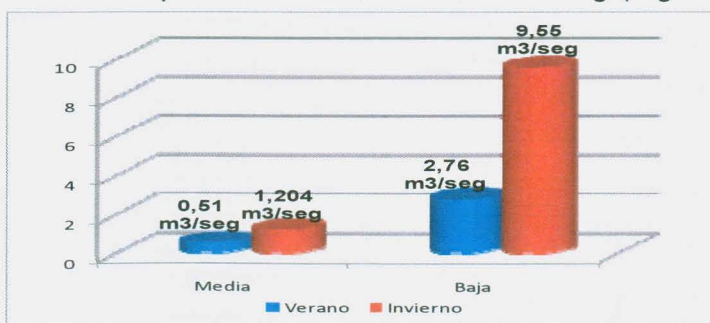
Parte de la subcuenca	Estación del año					
	Verano			Invierno		
	d(m)	t(seg)	V=d/t(m/seg)	d(m)	t(seg)	V(m/seg)
Media	2,10	18	0,116	2,10	12	0,175
Baja	5	94	0,053	5,0	46	0,11

d = distancia conocida; t = tiempo que tardó el objeto flotante en recorrer la distancia conocida; V = Velocidad promedio de la corriente de agua

### 5.11.2 Caudal del agua superficial en verano e invierno

Los resultados demostraron que el caudal total de la subcuenca del río Brakira aumenta sustancialmente en la estación de invierno en un 7,48 m<sup>3</sup>/seg (un 228,8%). Este crecimiento significativo del área transversal del caudal, no solo se debe al aumento de las precipitaciones, y al aporte de sus afluentes, sino más bien, al incremento en el escurrimiento superficial producto de la disminución de la cobertura vegetal (árboles y arbusto) en la parte media y alta, que permite la formación de una lamina de agua en la sabana o llano, la cual fluye libremente pendiente abajo.

Para el cálculo del caudal se tomaron como base los datos de las áreas transversales y velocidades promedias correspondientes a los aforos seleccionados, tanto en la parte media y baja de la subcuenca. Los valores de caudales obtenidos en la parte media, y para periodo de verano e invierno fueron estimados en 0,51 – 1,204 m<sup>3</sup>/seg; para la parte baja los valores correspondieron a 2,76 – 9,55 m<sup>3</sup>/seg (Figura 10).



**Figura 10. Caudal de los aforos de la parte media y baja, para los periodos de verano e invierno**

En el periodo de transición el caudal de la parte media presenta un incremento de 0,69 m<sup>3</sup>/seg, y en la parte baja un 6,79 m<sup>3</sup>/seg, equivalente a 246% de incremento (Figura 10). Esto significa, que el material erosionado en la parte alta, es depositado en la parte media y baja del río en forma de sedimentos, aumenta la turbidez del agua superficial.

## 5.12 Calidad del agua superficial del río Brakira

En relación a la característica del agua superficial se pudo constatar, que el color cambia a amarillento en la estación de invierno, tomando muchas veces un olor y sabor a madera en descomposición. Sin embargo, mejora sustancialmente en la época de transición, adquiriendo un color transparente o normal.

Los resultados de calidad de agua superficial indican que el agua cruda (*agua del río sin tratamiento potabilizador*), contiene un nivel mayor o igual a 1600 NMP/100 ml de Coliformes fecales y 900 mg NMP/100 ml de *Escherichia coli*. En el Cuadro 15 se comparan los datos del agua cruda superficial del río Brakira concerniente al periodo 2008, con los valores establecidos por la norma OMS/OPS y norma CAPRE.

*Cuadro 15. Parámetros del agua superficial del río Brakira del año 2008, con relación a la norma OMS/OPS y norma CAPRE*

Parámetros/Unidad	Valor del agua cruda	Valor superado	Norma OMS/OPS	Norma CAPRE	
				VR	VMT
Coliformes fecales NMP/100 ml	1600	* ^	Sd	Ausente	Ausente
pH (Unidades)	6,55	Ns	5 - 8,5	6,5 - 8,5	≤ 8,5
Temperatura (°C)	29	Ns	18 - 32	18 - 30	≤ 30
Turbidez (UNT)	3,29	^	5	≤ 1	≤ 3
OMS = Organización Mundial de la Salud, OPS = Organización Panamericana de la Salud; VMP = Valor máximo permisible, VR = Valor Recomendado, VMT = Valor mínimo tolerable; Ns = Valor no superado según la norma de la OMS/OPS y norma CAPRE; * = Valor superado según la norma de la OMS/OPS; ^ = Valor superado según norma CAPRE. Sd = Sin dato					

La comparación de los resultados del agua cruda superficial del río Brakira versus la norma OMS/OPS y CAPRE, muestra que el parámetro Coliformes fecales, supera el valor, lo que significa que se deben realizarse los tratamientos potabilizadores requeridos para dicho parámetro. En lo que concierne al valor de la turbidez, este supera el valor máximo admisible de la norma CAPRE; sin embargo, se considera aceptable según la norma OMS/OPS. En relación a los parámetros temperatura y pH, sus valores se encuentran por debajo de lo establecido.

De forma general, podemos manifestar que el agua cruda superficial del río Brakira reúne las condiciones mínimas para consumo humano, ya que muchos de sus parámetros de calidad analizados por el MINSA<sup>7</sup> y ENACAL en el año 2008, están dentro o por encima de los valores recomendables por las normas OMS/OPS y CAPRE. En seguida se describen los parámetros determinados por el MINSA y ENACAL en el año 2008, del municipio de Puerto Cabezas, RAAN.

*Cuadro 16. Resultado del análisis del agua cruda superficial de la subcuenca río Brakira*

<b>Parámetros</b>	<b>Río Brakira</b>
pH	6,55
Conductividad	0,04
Temperatura	29 °C
Turbidez	3,29

Referente a la calidad del agua cruda superficial del río Brakira, esta, no tiene un monitoreo sistemático, ni frecuencia de muestreo. Generalmente los efectúan cuando consideran que ha habido alteraciones en el río, ya sea de forma natural (presencia de una tormenta o inundación) o antrópica (denuncia de contaminación producto de los basureros).

### **5.12.1 Calidad de agua del acueducto de Tuapí**

Los análisis de agua del acueducto de Tuapí o planta de tratamiento realizado por el MINSA y ENACAL en el año 2008, expresan una calidad

<sup>7</sup> Ministerio de Salud (MINSA)

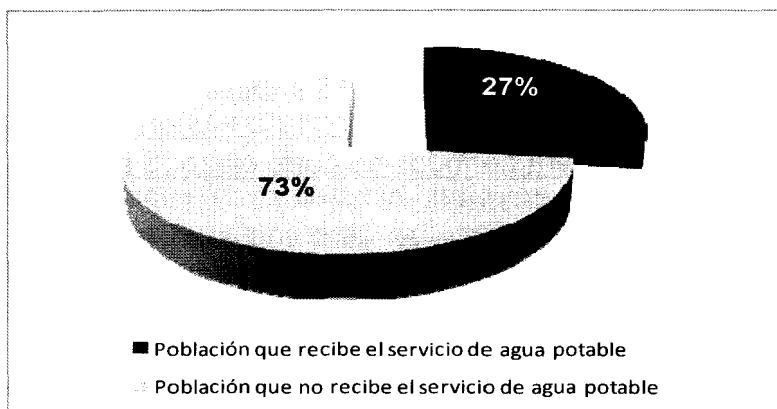
moderada para consumo humano, debido a que el proceso de cloración baja, pero no elimina en su totalidad los valores de Coliformes fecales totales y de *Escherichia coli*. En el Cuadro 18 se muestra la comparación cuantitativa de los valores de agua del acueducto de Tuapí o planta de tratamiento, la cual es distribuida a la población de la ciudad de Bilwi como agua potable, con las normas OMS/OPS y CAPRE.

*Cuadro 17. Parámetros de agua del acueducto de Tuapí del año 2008, relacionadas con las normas OMS/OPS y CAPRE*

Parámetros/Unidad	Acueducto Tuapí	Valor superado	Norma OMS/OPS	Norma CAPRE	
				VR	VMT
Coliformes fecales NMP/100ml	1,98	* ^	Sd	Ausente	Ausente
pH (Unidades)	7,7	Ns	5 - 8,5	6,5 - 8,5	≤ 8,5
Temperatura (°C)	29	Ns	18 - 32	18 - 30	≤ 30
Turbidez (UNT)	3,02	^	5	≤ 1	≤ 3
OMS = Organización Mundial de la Salud, OPS = Organización Panamericana de la Salud, VMP = Valor máximo permisible, VR = Valor Recomendado, VMT = Valor mínimo tolerable, Ns = Valor no superado según la norma de la OMS/OPS y la norma CAPRE, ^ = Valor superado según la norma de la OMS/OPS, * = Valor superado según la norma CAPRE, Sd = Sin dato					

La comparación cuantitativa muestra que los valores Coliformes fecales totales y Turbidez, siguen superando los valores máxima aceptable de la norma CAPRE, aunque en la norma OPS/OMS la Turbidez se encuentra en el rango permisible. De forma general, consideramos que la calidad del agua del acueducto reúnen las condiciones mínimas para consumo humano, más no como agua potable, si nos apegamos estrictamente a las normas de agua potabilizadoras. Del mismo modo, consideramos que es elemental efectuar los análisis de los 9 parámetros que definen el Índice de Calidad de Agua (ICA), tales como: DBO<sub>5</sub>, Nitrato, Fosfato, Sólidos disueltos totales y Oxígeno disuelto, para así concretar, que el agua del acueducto de Tuapí, reúne los requerimientos aceptable para consumo humano.

De seguida en el Figura 11 se muestra la distribución porcentual de la población de la ciudad de Bilwi, que recibe agua del acueducto de Tuapí y la población que no recibe el servicio (ENACAL 2008).



*Figura 11. Porcentaje de la población con servicio y sin el servicio de agua potable en la ciudad de Bilwi*

De acuerdo a las concentraciones de Coliformes fecales presente en el agua cruda superficial del río Brakira, como el agua del acueducto de Tuapí, esta, no calificaría como potable, y para lograrlo demandaría un mayor tratamiento potabilizador, que no necesariamente implicaría la cloración, como sucede actualmente, sino un proceso de depositación y filtración. En relación al incremento en los valores del parámetro de Turbidez, este, tiene una concordancia directa con la época de invierno; dicho parámetro, indica que se deben limitar todas aquellas actividades que provoquen un cambio en el uso del suelo, y que vayan a aumentar considerablemente el escurrimiento superficial de la parte media y alta de la subcuenca o de las zonas con las mayores pendientes. En relación, a la parte alta de la subcuenca, las concentraciones de turbidez, se debe a la pérdida de suelo producto de la extracción de grava y arena.

### **5.13 Medidas de mitigación**

Las medidas de mitigación establecidas tienen una mirada hacia los futuros planes de desarrollo regional, municipal y comunal, programas y/o proyectos de protección y/o conservación de la subcuenca, así como, para impulsar procesos de gestión comunitaria. De acuerdo a los resultados y análisis obtenidos se proponen acciones y/o actividades (medidas) a diferentes periodos de tiempo, todo con el propósito de ir

mejorando las condiciones actuales de la subcuenca. Los periodos de tiempo establecidos corresponden a periodos de corto plazo (5 años), mediano plazo (10 años) y largo plazo (15 años).

Medidas de mitigación para periodos de corto plazo (5 años):

1. Efectuar sistemáticamente en la comunidad indígena de Tuapí, pequeños talleres sobre el cuidado y conservación de los recursos naturales, todo bajo un enfoque de manejo integrado de cuencas hidrográficas.
2. Regular o prohibir la extracción de material selecto (grava y arena) en la parte media y alta de la subcuenca a través de una resolución del consejo regional o gobierno municipal.
3. Colocar rótulos sobre la carretera Bilwi-Tuapí, haciendo alusión a las sanciones que conllevaría en caso de ser visto o denunciados con la extracción ilegal de material selecto o tirando basuras.
4. Establecer un plan de monitoreo de la calidad del agua superficial del río Brakira.
5. Establecer viveros comunales por un periodo de tres años, con el propósito de reforestar el bosque de pinos y el bosque ribereño de las partes media y alta de la subcuenca.
6. Realizar jornadas de limpiezas en el río Brakira, involucrando a la comunidad, universidades, colegios, funcionarios de instituciones, grupos ecologistas, entre otros.
7. Acercar un radio mínimo horizontal de 200 m alrededor de las nacientes u ojos de agua.
8. Realizar un estudio que determine zonas de protección al recurso hídrico superficial, según su vulnerabilidad.
9. Efectuar una investigación de la valoración económica de bienes y servicios ambientales, para establecer una tarifa, cuota o canon ambiental del servicio ecosistémico hídrico.
10. Seleccionar otros sitios o bancos de material selecto de grava y arena, para que puedan seguir comercializando el material a los demandantes de la construcción local.
11. Establecer talleres de capacitación sobre la normativa jurídica-legal vigente de las áreas de protección, de las regulaciones legales relacionadas a la contaminación y de la gestión integral del recurso hídrico.

12. Finalmente establecer un plan de prevención y mitigación a la contaminación de la parte alta de la subcuenca.

Medidas de mitigación para periodos de mediano plazo (10 años):

1. Gestionar ante la comunidad indígena de Tuapí, un aval para iniciar el proceso de declarar a la subcuenca del río Brakira, como Área Protegida.
2. La municipalidad y ENACAL deben promover la organización comunal, para que vele por la conservación de la parte media y alta de la subcuenca.
3. Las autoridades competentes deberán crear cuerpo de vigilantes o guarda parques, para la protección de la subcuenca.
4. Diseñar un programa de educación ambiental basado en la protección del recurso hídrico de la subcuenca del río Brakira.
5. Establecer talleres de capacitación sobre la normativa jurídica-legal vigente de las áreas de protección, de las regulaciones legales relacionadas a la contaminación y de la gestión integral del recurso hídrico.

Medidas de mitigación para periodos de largo plazo (15 años):

1. Crear el plan de ordenamiento territorial de la subcuenca.
2. Identificar fuentes alternas de abastecimiento de agua potable, ya sea del río Tuapí o de pozos artesanos, con el propósito de suplir la demanda de agua de consumo a la población de Bilwi.
3. La comunidad de Tuapí, debe renegociar el contrato de arrendamiento con ENACAL, en calidad de socio y/o accionistas.

Finalmente, para lograr el éxito de las medidas establecidas se debe hacer partícipe del apoyo técnico de las diferentes instituciones gubernamentales y no gubernamentales, universidades, entre otros; así como del financiamiento de parte del gobierno regional, municipal, ENACAL y empresa privada (empresas procesadores de mariscos), y en definitiva se hace necesario una buena organización comunal, con un objetivo común de buscar las mejores alternativas soluciones a los problemas que afectan al río Brakira.

## VI. CONCLUSIONES

1. Los aspectos ecológicos que caracterizan a la subcuenca y del cual debe partir todo plan, programa o proyecto de protección y/o conservación de la subcuenca son: la flora, por la predominancia de un bosque de pinares o de sabana en más del 90%; el clima, principalmente por el tipo de precipitaciones (mayores de 2887 mm/año durante más de 6 meses); su geología, por su origen aluvional de materiales recientes no consolidados tales como arena, arcillas y gravas, útiles como materiales de construcción local; y su suelo de orden Ultisols, arenoso y de fácil erosión.
2. Los aspectos de la red de drenaje, perfil longitudinal y forma de la cuenca, indican un escurrimiento superficial bueno, que reduce las probabilidades de que sean cubiertas en su totalidad por una tormenta, afectando muy poco el tipo de respuestas del río sobre una inundación.
3. La parte media y alta de la subcuenca presenta 933 sitios de extracción; sitios que están alterando una superficie de suelo de 13,16 ha, en donde se ha extraído la cantidad de 26186,65 m<sup>3</sup> de materiales selecto de grava y arena, equivalente a nueve millones cuatrocientos noventa y dos mil seiscientos sesenta con sesenta y tres córdobas netos.
4. De acuerdo a la norma INTA, la pérdida de suelo por erosión hídrica varía de 264 - 360 ton/ha/año, con una categoría de moderadamente alta, y un nivel de erosión de leve a ligero (11 mm/año) en la parte media y moderado (15 mm/año) en la parte alta de la subcuenca. Y según los niveles de erosión establecido por Cubeto (1996), se categoriza la parte media y alta de la subcuenca como de muy severa.
5. Entre los meses de julio - septiembre se incrementa notablemente el proceso de erosión en la parte media y alta de la subcuenca. Dicho incremento no necesariamente se debe al aumento de la precipitación, sino más bien, a un mayor impacto de las gotas de



lluvia que caen sobre la superficie del suelo desprovisto de su cobertura de vegetación natural.

6. En la época de transición (verano a invierno), existe una gran diferencia en el caudal de la parte baja de la subcuenca, esta se incrementa en un 228,8% su caudal; sin embargo, no existe una diferencia tan notoria en el caudal de la parte media (0,51 – 1,20 m<sup>3</sup>/seg).
7. El análisis bacteriológico, físico y químico del agua cruda del río Brakira, refleja que no es apropiada para consumo humano, según la comparación cuantitativa de la norma OMS/OPS y CAPRE. No obstante, esta suposición parte de tres parámetros. En cambio el agua del acueducto de Tuapí, si llena los requerimientos de agua para consumo humano; no obstante, no los requerimientos de agua potable, si nos apegamos estrictamente al valor de ausente de Coliforme fecales totales.
8. Las medidas de mitigación establecidas, constituyen un conjunto de actividades graduales que atacan directamente los efectos de la actividad de extracción del material selecto de grava y arena sobre el agua superficial del río Brakira; asimismo permite resolver en alguna medida los problemas de auto-gestión, referente a la protección y/o conservación del recurso hídrico.

## **VII. RECOMENDACIONES**

1. Reforestar las áreas de las nacientes y ojos de agua, con especies nativas y de rápido crecimiento el bosque ribereño y el bosque de pinares o de sabana.
2. Prohibir la extracción de material selecto y ubicar en las vías de entradas de la subcuenca, rótulos con mensaje de prohibición a la extracción del material; asimismo hacer alusión a las sanciones que conllevaría en caso de infringirla.
3. Crear guardabosque para la vigilancia de la parte media y alta de la subcuenca.

4. La municipalidad de Puerto Cabezas y ENACAL en conjunto con los habitantes de la comunidad de Tuapí, deben gestionar los recursos técnicos y financieros, para diseñar y ejecutar un plan de ordenamiento en toda el área de la subcuenca del río Brakira. Además, deberán promover la organización comunal y financiar un programa de educación ambiental.
5. Formar un comité de agua potable según la Ley de Agua Nacionales, la cual deberá estar integrada por las autoridades comunales de Tuapí, ENACAL, la Alcaldía municipal y otras autoridades que tengan vínculo directo en la protección y/o conservación de los recursos naturales y el medio ambiente.
6. Se recomienda al MINSA, hacer los análisis de agua, considerando todos los parámetros del Índice de Calidad de Agua (ICA) establecido por la norma CAPRE, esto, con el propósito de poder obtener una clara percepción de la calidad de mismo.
7. Declarar toda el área de la subcuenca del río Brakira como zona de protección de la vida silvestre a través de un decreto municipal o regional, y dejar establecido que el comité comunal de agua serán los encargados de fiscalizar, promover, gestionar y ejecutar los recursos técnicos y económicos para las actividades de protección y/o conservación de la subcuenca.
8. Finalmente establecer una estructura comunal de agua, llámese comité de cuencas o juntas de agua comunal, la cual deberá ir liderada por la comunidad indígena de Tuapí, con el apoyo del gobierno municipal y ENACAL, y algunas instituciones del estado como: MARENA, SERENA, las empresas procesadores de mariscos y las universidades, para que a través de una gestión compartida y direccionada puedan buscar los recursos técnicos y económicos necesarios, en la aplicación de las medidas de mitigación establecidas para la subcuenca del río Brakira.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Brenes, A; Saborío, VF. 2000. Elemento de climatología: aplicación didáctica a Costa Rica. Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José, CR, EUED. 104 p.
- BROWN, R. 1970. A Water Quality Index – Do We Dare? Water Sewege Work 11. p. 339 – 343.
- CAPRE (Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana). 2003. Norma técnica nacional para agua de uso agrícola y pecuaria, recreativo, preservación de la flora y fauna y abastecimiento de poblaciones. República de Honduras, Secretaría de Salud. p. 5 - 9.
- Cubero, F; Diógenes. 1996. Manual de conservación de suelos y aguas. San José, CR, Editorial Universidad Estatal a Distancia. EUNED. 300 p.
- Dourojeanni, A. 1994. Políticas públicas para el desarrollo sustentable: la gestión integrada de cuencas. Santiago, CL, CEPAL. 238 p.
- Espasa 1999. Rocha. M. L. R. Material del curso de manejo de cuenca hidrográfica. UNAN, Managua. NI. 1289 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1981. Contaminación de las aguas subterráneas. Madrid, ES. 191 p.
- \_\_\_\_\_. (s.f.). Métodos volumétricos: método velocidad por superficie. Departamento de Agricultura. 25 p. Consultado el 6 jul. 2009. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/T0848S/t0848s04.htm>
- \_\_\_\_\_. (s.f.). Métodos de reconocimiento: medición del cambio de nivel de la superficie. Departamento de Agricultura. 14 p. Consultado el 22 de oct. 2008. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/T0848S/t0848s04.htm>

Faustino, J. 2007. Curso protección de fuentes de agua: documento técnico para el curso. Organización por la Oficina Técnica Nacional del CATIE. Managua, NI. 98 p.

\_\_\_\_\_. 2006. Notas de clase para el curso de identificación, evaluación y manejo de zonas de recarga hídrica. CATIE, Turrialba CR. 217 p.

\_\_\_\_\_. 1996. Gestión ambiental para el manejo de cuencas municipales. CATIE, Turrialba CR. 137 p.

Guevara, Q; Sigfrido. 1999. Biología quinto año de educación media. Publicaciones y librería San Jerónimo, Managua, NI. 440 p.

Hilda, 2008. Concepto de suelo, en ciencias naturales. 2 p. Consultado el 02 de sept. 2009. Disponible en: <http://deconceptos.com/ciencias-naturales/suelo>

Incer. Jaime. 1975. Geografía Dinámica de Nicaragua. Tomo 1 Editorial HISPAMER S. A Managua, NI. 102 p.

INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). 2002. Clases de pérdida de suelo. Managua, NI. 125 p.

Jiménez, F. 2007. Introducción al manejo de cuencas hidrográficas: material de referencia en curso de maestría en manejo de cuencas hidrográficas. Turrialba, CR, CATIE. 20 p.

\_\_\_\_\_. 2002. Apuntes de clase del curso: manejo de desastres naturales. Turrialba, CR, CATIE. 288 p.

Maluenda, J. 1986. Técnica para el establecimiento de un vivero forestal y producción de planta. Documentos técnicos 7 y 8 Santiago, Chile. 110 p.

Martínez, M; Jaime. 1990. Ciencias naturales: segundo año. NUTESA, México DF. 136 p.

- Miranda y Pereira. 2002. Caracterización biofísica y socioeconómica de la subcuenca de Brakira. Comunidad de Tuapí, RAAN, Managua, NI. 76p.
- Mitchell, M; Strapp, W; Bixby, K. 1991. Manual de campo: guía para monitorear la calidad del agua en el río Bravo. Proyecto del río New México, USA. 200 p.
- Morales, J. 2001. Manejo y planificación de cuencas hidrográficas. Managua NI. 118 p.
- \_\_\_\_\_. 1999a. Concepto básico de cuencas hidrográficas. Universidad Nacional Agraria (UNA). Modulo I. Managua, NI. 51 p.
- \_\_\_\_\_. 1999b. Degradación y rehabilitación hidrológica de cuencas hidrográficas. UNA. Modulo II. Managua, NI. 19 p.
- \_\_\_\_\_. 1999c. Conservación de suelos y aguas. Managua, NI. 262 p.
- \_\_\_\_\_. 1998. Caracterización y diagnóstico de cuencas hidrográficas. UNA. Managua, NI. 70 p.
- Odum, Eugene. P. 1972. Ecología. 3a Edición, Nueva Editorial INTERAMERICANA. S. A de c. v. D.F, México. 640 p.
- Ongley, ED. 1997. Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. Estudio de la FAO: riego y drenaje. Roma, Italia. 116 p.
- Radulovich, R. 1997. Sostenibilidad en el uso del agua en América Latina. Revista Forestal Centroamericano. p. 18: 13 – 17.
- Ramakrishna, B. 1997. Estrategia de extensión para el manejo integrado de cuencas hidrográficas: conceptos y experiencias. Serie investigación y educación en desarrollo sostenible. San José, CR. IICA. 338 p.

- Rodríguez, MA. 1998. Plan de desarrollo forestal y ordenamiento territorial de la comunidad Indígena de Tuapí. FADCANIC, Puerto Cabezas, RAAN, NI.
- Salas. E. Juan. B. 1993. Árboles de Nicaragua, Instituto Nicaragüense de recursos naturales y del ambiente, IRENA, Managua. NI. 390 p.
- Villón, M. 2004. Hidrología. Cartago, CR, ITCR. 386 p.
- Watler, W. 2008. Análisis de vulnerabilidad a la contaminación del recurso hídrico en la subcuenca del río Siquirres. CATIE, Turrialba, CR. 230 p.
- \_\_\_\_\_. 2009a. Programa de clases de cuencas hidrográficas, unidad I: bases conceptuales del manejo, gestión y cogestión de cuencas hidrográficas. URACCAN, kamla, Puerto Cabezas, RAAN, NI. 22 p.
- \_\_\_\_\_. 2009b. Programa de clases de manejo y conservación de suelo y agua, unidad III: erosión de suelo. URACCAN, kamla, Puerto Cabezas, RAAN, NI. 16 p.

## **IX. ANEXO**

### **Anexo 1. Guía de entrevista a comunitarios y líderes locales**

No	PREGUNTAS
1	¿Cuáles son las principales actividades agrícolas que realizan dentro del área de la subcuenca del río Brakira?
2	¿Desde cuándo se practica las actividades de extracción de gravas y arenas dentro del área de la subcuenca del río Brakira?
3	¿Qué consecuencias originan las actividades de extracción de materiales de construcción a la subcuenca del río Brakira?
4	¿Diga de qué manera son afectados los recursos suelo, bosque y agua de la subcuenca por las actividades de extracción de arena y grava?
5	¿Qué beneficios recibe la comunidad de Tuapí de la extracción de arena y grava del área de la subcuenca?
6	¿Crees que las actividades de extracción de arena y grava han cambiado el paisaje del área de la subcuenca y en cuales paisaje?
7	¿Qué medidas de regulación y control se deben tomar para un aprovechamiento sostenible de las arenas y gravas existentes en el área de la subcuenca del río Brakira?
8	¿Ha existido proyectos o programas para la protección y conservación de la subcuenca?

## Anexo 2. Fotos representativas de la subcuenca del río Brakira



*Foto 1. Bosque de pinares o de sabana y bosque ribereño en la subcuenca del río Brakira*



*Foto 2. Sitios o huecos de extracción de arena en la parte alta de la subcuenca del río Brakira*





*Foto 3. Red de drenaje de orden 1 de la subcuenca del río Brakira, con el bosque predominante (bosque de pinares o de sabana)*



*Foto 4. Aplicación del método de la poligonal en las unidades o áreas de muestreo de la subcuenca del río Brakira*





Foto 5. Método de la poligonización en la parte alta de la subcuenca del río Brakira

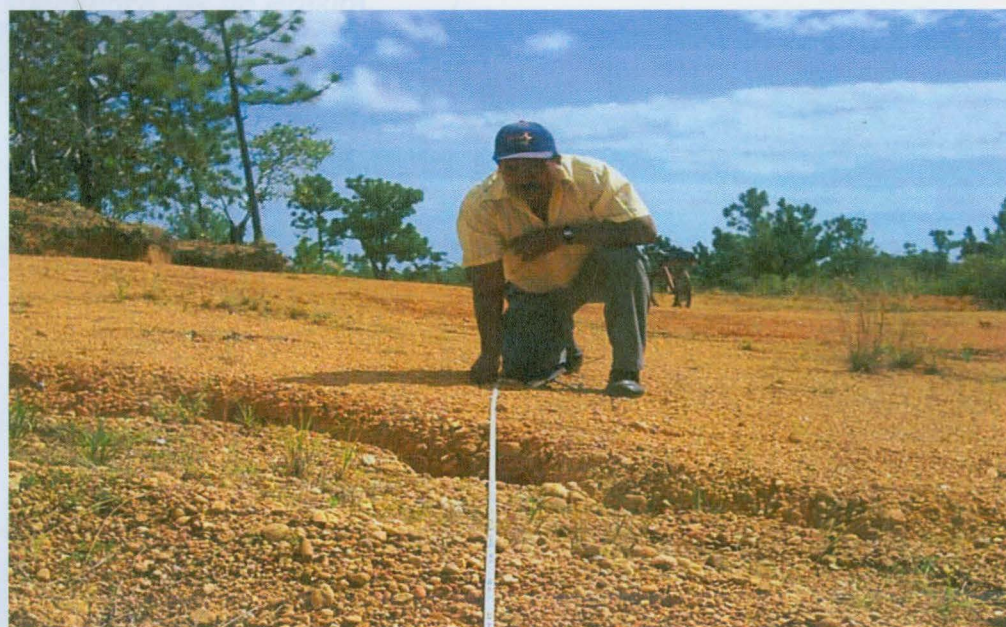


Foto 6. Método de la poligonización en sitios de extracciones de grava de la parte media de la subcuenca del río Brakira





Foto 7. Medición del caudal en la parte media de la subcuenca del río Brakira



Foto 8. Medición del caudal en la parte baja de la subcuenca del río Brakira